

THESIS

MUNICH

1965

DAVE MEDICAL LIBRARY
DAVE MEDICAL LIBRARY
UNIVERSITY
DRIVE
TALLO ALTO, CALIF.

**Untersuchungen über die Standardisierung des
kombinierten Steh- und Belastungs-
Elektrokardiogramm bei älteren Schulkindern.**

Heinz Forchheimer

Aus der Kinder-Poliklinik der Universität München
Direktor: Professor Dr. med. G. Weber

Untersuchungen über die
Standardisierung des kombinierten
STEH- und BELASTUNGS-ELEKTROKARDIOGRAMM
bei älteren Schulkindern

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der
gesamten Medizin verfaßt und einer
Hohen Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Heinz Forchheimer
aus Straubing/Donau

München
1965

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Professor Dr. Th. Hellbrügge

Mitberichterstatter: Professor Dr. G. Weber

Dekan: Professor Dr. R. Zenker

Tag der mündlichen Prüfung: 5. Oktober 1965

M e i n e n l i e b e n E l t e r n
i n D a n k b a r k e i t g e w i d m e t



Digitized by the Internet Archive
in 2026

INHALTSÜBERSICHT

	Seite
Einführung in das Problem	1

I. T E I L

Literaturübersicht

A. Besonderheiten des EKG im Kindesalter im Vergleich mit dem Erwachsenen-EKG

I. Das Ruhe-EKG

1. Cardiale Wachstumsfaktoren	3
2. Extracardiale Wachstumsfaktoren	4
3. Haemodynamischer Faktor	4
4. Die Lage der elektrischen Herzachse	4
5. Ruhfrequenz und Sinusrhythmus bei gesunden älteren Schulkindern	6
6. Die Vorhofs-Zacke	7
7. Das P-Q-Intervall (Überleitungszeit)	9
8. Der QRS-Komplex (Kammerkomplex)	11
9. Die S-T-Strecke	16
10. Die T-Zacke	16
11. Die Q-T-Dauer	22
12. Die U-Zacke	23

II. Einflüsse der Körperhaltung auf das EKG im Kindesalter (Steh-EKG)

1. Allgemeine Erscheinungen, Frequenz, elektrische Herzachse	23
2. Die P-Zacke	24
3. Die P-Q-Strecke (Überleitungszeit)	24
4. Der QRS-Komplex	24
5. Die S-T-Strecke und die T-Zacke	25
6. Die Q-T-Zeit	26

III. Die Einwirkung körperlicher Belastung auf das
EKG im Kindesalter (Belastungs-EKG)

1. Sinusrhythmus	26
2. Die P-Zacke	27
3. Das P-Q-Segment (Überleitungszeit)	27
4. Der QRS-Komplex (Kammerkomplex)	28
5. Die S-T-Strecke	29
6. Die T-Zacke	31
7. Die Q-T-Zeit (Kammererregungsdauer)	31
8. Die U-Zacke	32

B. Zur Methodik

I. Untersuchungsgut

1. Zum Problem der Altersgruppen- und Reifestufen- Einteilung bei Untersuchungen über das EKG im Kindesalter	33
2. Altersgruppen und Geschlechtsunterschiede im EKG des Kindesalters	34

II. Arbeitsbelastungsversuch und EKG im
Kindesalter

1. Die Kreislaufregulation im Steh- und Belastungsversuch	35
2. Belastungs-Modus	36
3. Die Belastungsgröße	38

III. Versuchsbedingungen

1. Allgemeine Voraussetzungen für ergometrische Untersuchungen	39
2. Voruntersuchung des Untersuchungsgutes	40

C. Schlußfolgerungen für eigene Untersuchungen 42

	Seite
II. T E I L	
Eigene Untersuchungen	
A. Methodik	
I. Untersuchungsgut	44
II. Meßanordnung	
1. Ergometer und Schrittmacher	46
2. Elektrokardiographische Technik	47
III. Versuchsanordnung	
1. Allgemeine Vorbedingungen	50
2. Versuchsablauf	50
IV. Statistische Methoden	54
III. T E I L	
Ergebnisse	
I. Das Verhalten der Pulsfrequenz bei submaximaler Belastung	55
II. Sinusrhythmus	55
III. Die Veränderung der elektrischen Herzachse während des kombinierten Steh- und Belastungsversuches	56
IV. Die Veränderung der einzelnen Meßgrößen des EKG während des Steh- und Belastungsversuches	58
1. Die Vorhofs-Zacke (P-Zacke)	58
a) Die Höhe der P-Zacke	58
b) Die P-Dauer	59
2. Die Überleitungszeit (P-Q-Zeit)	62
3. Der QRS-Komplex	63
a) QRS-Dauer	63
b) Die Q-Zacke	68
c) Die R- und S-Zacken	70

	Seite
4. Die Q-T-Zeit (Kammererregungsdauer)	79
5. Die S-T-Strecke	79
6. Die T-Zacke	81
7. Die U-Zacke	85

IV. T E I L

A. Zusammenfassung	86
B. Literatur-Verzeichnis	88
Lebenslauf	102

E i n f ü h r u n g

Die Prinzipien der Ergometrie haben den Aussagewert des herkömmlichen Belastungs-EKG mit seiner ungenauen Leistungsmessung erheblich eingeschränkt. Belastungsarten wie Treppensteigen, Kniebeugen usw. lassen sich ergometrisch nicht definieren oder standardisieren. Als Bestandteil klinischer Untersuchungen müssen sie mit Recht den Indikationen des Einzelfalles unterworfen und variiert werden, was aber eine weitere Unsicherheit der Methodik mit sich bringt.

Die sehr freizügig praktizierte Abwandlung der einzelnen Belastungsarten verhindert somit Vergleiche von - unter ein und denselben Kriterien untersuchten - repräsentativen Kollektiven.

Als Belastungs-EKG oder Arbeitsbelastungsversuchs-EKG bezeichnet man allgemein das nach der eigentlichen Arbeitsbelastung aufgezeichnete Elektrokardiogramm, also das im ergometrischen Sinn während der Erholungsphase niedergeschriebene Herzstrombild, das mehr oder weniger weit in die Erholungsphase hinein noch über den ergotropen Zustand des Herz- und Kreislaufsystems Aufschluß gibt. Schlagartig aber, mit Beendigung einer körperlichen Belastung, setzen bereits Gegenregulationen ein, die den reinen Leistungszustand des Organismus drosseln, um ihn möglichst rasch wieder in die Ruhelage zu bringen. Die überraschend steil abfallende Pulskurve gesunder Menschen beweist dies eindrucksvoll.

In diese, schon durch vagotrope Mechanismen beherrschte Erholungsphase wurde nun, wegen technischer Schwierigkeiten in der Registrierung, das sog. Belastungs-EKG verlegt, wobei meist auch noch eine strenge zeitliche Programmierung, die gerade in der Erholungsphase eine exakte Gliederung erfordert, nicht genau eingehalten werden konnte.

Bestimmte Ableitungsmethoden erlauben nun die Aufzeichnung des Elektrokardiogrammes auch während der körperlichen Belastung in einem beschränkten Umfang. Somit ist es möglich, bei fortlaufender Aufzeichnung das Herzstrombild in der eigentlichen Arbeits- und in der nachfolgenden Erholungsphase zu kontrollieren, oder das eigentliche Belastungs-EKG vom Erholungsphasen-EKG zu trennen, d.h. das Elektrokardiogramm zweier grundsätzlich verschiedener Zustände zu verfolgen.

Belastungs-Elektrokardiogramme wurden im Liegen und in aufrechter Körperhaltung registriert. Das im Liegen, z.B. bei Tretkurbelarbeit aufgezeichnete EKG wird wie jedes Arbeits-EKG mit dem Ruhe-EKG verglichen, es bietet dabei nicht die Schwierigkeiten in der Analyse wie das Belastungs-EKG in aufrechter Körperhaltung, bei dem Veränderungen der einzelnen Elemente durch Lagewechsel des Körpers und durch den Belastungszustand hervorgerufen sein können. Das Belastungs-EKG in aufrechter Körperhaltung, z.B. Tretkurbelarbeit im Sitzen kommt jedoch - und das ist in letzter Zeit von verschiedenen Seiten betont worden - der physiologischen "Arbeitshaltung" am nächsten.

In nachfolgender Untersuchung wurde nun der Versuch unternommen, die natürlichen Gegebenheiten eines Arbeitsvorganges unter streng ergometrischen Voraussetzungen nachzuahmen und elektrokardiographisch zu verfolgen, um somit zu Standardwerten des kombinierten Ruhe-, Steh-, Belastungs- und "Erholungsphasen"-EKG einer bestimmten Altersgruppe zu kommen.

I. T E I L

Literaturübersicht

A. Die Besonderheiten des EKG im Kindesalter im Vergleich mit dem Erwachsenen-EKG

I. Das Ruhe-EKG

Das EKG im Kindesalter hat seine Besonderheiten, die unter normalen physiologischen Verhältnissen am deutlichsten durch den Vergleich mit dem Erwachsenen-EKG zu beschreiben sind.

Cardiales und extracardiales Wachstum, sowie haemodynamische Faktoren wirken dabei in erster Linie typformend auf das EKG des Kindes.

1. Cardiale Wachstumsfaktoren

Eine gleichmäßige Verteilung von Links- und Rechtstypen zeigte beispielsweise das durch Heard, Burkley und Schaeffer (42) direkt von Feten abgenommene EKG, während beim Neugeborenen mehr der Rechtstyp überwiegt. Später, nach der 3. Lebenswoche, traten nach Untersuchungen Schlomkas und Kreutzmanns (121) immer mehr Steil- und Mitteltypen, vereinzelt auch schon Linkstypen auf, bis schließlich im Alter von 12-14 Jahren die Typverteilung des Erwachsenen erreicht wird.

Bei diesem Typwandel ist das Wachstum des Herzens selbst und seine Lageveränderung im Thorax ausschlaggebend. Lepeschkin (68) hat festgestellt, daß vom 1. Lebenstag bis zum Jugendalter die Länge des Herzens um das 10-fache zunimmt und der Faserquerschnitt der Muskulatur sich bedeutend erhöht, außerdem ändert die allmähliche Umstellung der Haemodynamik das Massenverhältnis beider Kammern zueinander (Holzmann (57)) und zwar im Verhältnis links-rechts von 1.3 : 1 im Säuglingsalter, gegenüber 2.3 : 1 im Alter von 16 Jahren. Boden und Neukirch (15) hingegen fanden schon um das 1. Lebensjahr das Massenverhältnis beider Kammern gleich dem des Erwachsenen. Im Alter der Pubertätsreifeung wächst das Herz ungemein schnell. Für das 14. und 15. Lebensjahr gab Schmidt (126) eine Zunahme des Herzens an, die dem 10-fachen des Wachstums vor der Pubertät entspricht.

2. Extracardiale Wachstumsfaktoren

Die Typverteilung von Elektrokardiogrammen bestimmter Entwicklungsphasen wird auch vom Wachstum des Thorax bzw. der das Herz umgebenden Organen bestimmt. Entsprechend den Wachstumsschüben kommen Lageveränderungen des Herzens zustande, die ebenso wie das Thoraxlängenwachstum und das Tiefertreten des Zwerchfells Drehungen der elektrischen Herzachse im Uhrzeigersinn hervorrufen (Holzmann (51)). Dabei sind auch noch funktionelle Umstellungen mit im Spiel.

Lepeschkin (68) wies auf die durch Herzdrehung verursachte Nähe der Ausflußbahn des rechten Herzens zur Thoraxwand hin. Die Dicke der Thoraxwand in den verschiedenen Altersstufen kann das EKG ebenfalls beeinflussen (Richman und Master (103)).

3. Haemodynamischer Faktor

Zu einem Druckabfall in den Lungenarterien kommt es nach den ersten Atemzügen des Neugeborenen durch die Entfaltung der Lungen. Das Foramen ovale und der Ductus Botalli schließt sich allmählich. Der Druck im Kreislaufsystem des Körpers erhöht sich, während er im Lungenkreislauf niedrig bleibt. Der linke Ventrikel hat von diesem Zeitpunkt an die größere Arbeit zu leisten, seine Wandstärke und die Dicke der Einzelfasern nimmt zu, während der rechte Ventrikel abnimmt. Diese Entwicklung ist nach Boellhaard (17) nach dem 1. Lebensjahr abgeschlossen.

In ihrer Auswirkung sind die genannten Faktoren nicht immer klar voneinander zu trennen. Je nach Alters- und Entwicklungsstufe entstehen durch sie spezifische elektrokardiographische Charakteristika, deren Kenntnis Voraussetzung für eine richtige Beurteilung des kindlichen EKG ist.

4. Die Lage der elektrischen Herzachse im Kindesalter

Boden und Neukirch (15) haben festgestellt, daß das Massenverhältnis beider Kammern, das ja im 1. Lebensjahr schon das der Erwachsenen ist, keinen Einfluß auf die elektrische Herzachse haben kann, daß aber extracardiale Gründe für die spezifische Typverteilung in diesem Alter maßgebend sind.

Schlomka und Kreutzmann (121) konnten den Wechsel vom kindlichen zum Erwachsenen-EKG in der Zeit vom 12.-14. Lebensjahr feststellen.

Angaben über die elektrische Herzachse im Kindesalter bezogen sich, zumindest in früheren Untersuchungen, meist auf Untersuchungskollektive, die vom 1. bis zum 10.-14. Lebensjahr reichten. Erst in den letzten Jahren setzte sich eine nach entwicklungsphysiologischen Gesichtspunkten bestimmte Altersgruppeneinteilung durch.

Heck und Stoermer (43) konnten in der Altersgruppe vom 10.-14. Lebensjahr eine sich allmählich vollziehende Wandlung zur Typverteilung der Erwachsenen beobachten. Der Mitteltyp herrscht vor, der Steiltyp kommt mit 40% an zweiter Stelle, der Linkstyp ist selten, während der im Säuglingsalter dominierende Rechtstyp fast vollständig fehlt. Tudbury und Atkinson (131) sahen bei ihren Erhebungen an 100 gesunden Kindern verschiedenen Alters die vertikale und halbvertikale Lage vorherrschen, die horizontale Lage aber auch bei Neugeborenen nicht selten.

Switzer und Besoain (116) studierten das EKG von 52 normalen Kindern im Alter von 1 1/2 bis 15 Jahren, sie fanden in diesem Altersbereich keinen Horizontaltyp. Richman und Master (103) untersuchten an 137 Kindern die Veränderungen des EKG im Laufe der Entwicklung, dabei war in der Neugeborenen-Periode ein Überwiegen des Rechtspositions-Typs auffallend, der sich dann im Laufe der weiteren Entwicklung in einen Steiltyp verwandelte, bis dann im 10. Lebensjahr die Typverteilung des Erwachsenen teilweise erreicht wurde.

Bengtson (13) konnte bei seinen vergleichenden Untersuchungen über das Arbeits-EKG bei Kindern und Erwachsenen in der Altersgruppe von 6-10 Jahren eine Häufigkeit des vertikalen oder semivertikalen Typs von 79%, des horizontalen Typs aber nur von 6% feststellen. Gardberg und Rosen (37) kommen über die Analyse des Vektorkardiogramms bei 300 Kindern, die sie im Abstand von 1-3 Monaten immer wieder untersuchten, zu derselben Auffassung wie Richman und Master. Über den Rechtspositionstyp im frühen Säuglingsalter kommt es im Kindesalter immer mehr zu einem Vorherrschen des Steil- und Mittellagetyps.

Typwechsel, wie er bei einem und demselben EKG durch Lagewechsel, Belastung, sowie bei krankhaften Erscheinungen zutage tritt, beobachtete Henckel (49) bei 9 von 50 gesunden Kindern im Laufe eines Tages.

Kneese de Melo (64) untersuchte die Häufigkeitsverteilung der elektrischen Herzposition in verschiedenen Altersstufen. Er fand bei 100 Untersuchten der Altersgruppe III (11.-15. Lebensjahr) 12 vertikale, 56 semivertikale, 28 intermediäre, 3 semihorizontale und keine horizontale Achsenlage.

v. Unghvary und Szendey (132) wiesen in ihren Erhebungen über die Lageveränderung der elektrischen Herzachse während der Entwicklung auf die während des Schulalters und in der Pubertät beginnende Abweichung der Hauptachse nach rechts hin; eine Linksabweichung wird in diesem Alter immer seltener und verschwindet fast ganz mit 18-20 Jahren. Diese Rechtsablenkung wird wahrscheinlich durch das Längenwachstum des Thorax und die Vertikalisierung des Herzens verursacht (Lepeschkin (68)).

5. Ruhefrequenz und Sinusrhythmus bei gesunden älteren Schulkindern

Nach Kaggertz u. Mitarb. (55) beträgt die Ruhepulsfrequenz für die Altersgruppe:

	Mittelwert	Streuung
12 Jahren	♂ 85	65-105
	♀ 90	70-110
16 Jahren	♂ 75	55-95
	♀ 80	60-100

Fast die gleichen Werte siehe Lyon (Biol. Dat. f. d. Kinderarzt)

Wie bekannt ist, sinkt mit zunehmendem Alter die Ruhefrequenz. Nadrai (88) gibt als Durchschnittswert der Ruhefrequenz für die Altersgruppe von 9-12 Jahren 92/min an, für die Altersgruppe 15-50 aber 75/min.

Gelman und Brown (38) sahen eine erhebliche Labilität des Herzrhythmus bei Kindern (Switzer und Besoain, Camann, Slapak u.v.a.), wobei es sich in den meisten Fällen um die respiratorische Arrhythmie handelte, die ja nach Berichten von Schlomka und Mitarb. (120) eine physiologische und vom Alter abhängige Erscheinung ist und bei geringgradiger Ausbildung oder Fehlen im Kindesalter (besonders bei mittleren Ruhefrequenzen) sogar auf krankhafte Verhältnisse schließen läßt. Die Erklärungen über ihren

Entstehungsmechanismus sind vielfältig und berühren den Komplex der Vasomotoreninnervation und deren Steuerung (Matthes (76)).

Maroney und Rantz (74) stellten bei ihren Erhebungen an 679 Kindern die Fälle von Sinus-Rhythmus und Sinus-Arrhythmie in jeder Altersgruppe zusammen, dabei ließ sich eine offensichtlich kontinuierliche Zunahme der Arrhythmie in den höheren Altersgruppen (ab 3.-4. L.J.) feststellen. Im 9.-10. Lebensjahr hatten schon über 60% der untersuchten Kinder eine solche aufzuweisen. Nicolson (89) sah bei Jungen weniger häufig eine Sinusarrhythmie als bei Mädchen, bei denen sie im Alter zwischen 7 und 12 Jahren gewöhnlich war. Tudbury und Atkinson (131) stellten eine größere Häufigkeit der Sinusarrhythmie im späteren Kindesalter gegenüber dem Säuglings- und frühen Kindesalter fest.

Rutenfranz, Hellbrügge, Stehr und Hocke (110) hatten durch Beobachtung von Kindern bei Filmvorführungen, die besondere Ansprechbarkeit des Kreislaufes und damit der Pulsfrequenz in diesem Alter, gegenüber induzierten Affekten nachgewiesen.

Der Grundlabilität des Sinusrhythmus und der affektiv ausgelösten Pulsschwankung steht bei Kindern andererseits eine der Tages-Periodik unterworfenen Rhythmik der Herzfrequenz gegenüber. So wurde von Hellbrügge, Lange und Rutenfranz (48) ein zwischen 7 und 10 Uhr liegender Morgengipfel der Pulsfrequenz erkannt, der den gegen 17 Uhr auftretenden Nachmittagsgipfel übertrug; zwischen diesen beiden Scheitelpunkten befand sich eine Senke (13 Uhr), in der die Frequenz fast bis zum Tagesmittel absank. Vom Nachmittagsgipfel an zeigte sich ein zwischen 1-3 Uhr den tiefsten Punkt erreichender, stetiger Abfall der Pulsfrequenz, dem ein Anstieg zum Morgen hin folgte.

Weitere kreislaufwirksame Einflüsse konnten durch sog. "Hetzarbeit" (Lösung von Rechenarbeiten unter Zeitdruck) objektiviert werden (Rutenfranz (110a)).

6. Die Vorhofs-Zacke im Kindes- und Schulalter

Die P-Zacke variiert in ihrem Zeitwert und in ihrer Gestalt bei Kindern viel mehr als bei Erwachsenen, wie Mannheimer (73), Burnett und Taylor (20) u.v.a. erkannten, dabei wurde hinsichtlich der P-Dauer die Unterschiedlichkeit der Ruhefrequenz in den einzelnen Altersgruppen verantwortlich gemacht. Nervöse Regulationsmechanismen sowie die Besonderheit der Kreis-

laufverhältnisse im Kindes- und Jugendalter spielen dabei eine große Rolle. Albers und Scheer (2) fanden bei gleichen Frequenzen in allen Altersgruppen die gleiche P-Dauer. Die Richtung und Größe der Vorhofschwankung war in Untersuchungen von Eitel und Heintzen (32) in der Hauptsache von der Herzlage, der Lage und der Entfernung der Vorhöfe zur vorderen Brustwand abhängig. Die mannigfachen, nicht immer erklärbaren Einflüsse auf Dauer, Gestalt und Größe der P-Zacke veranlaßten Schmidt (127), darauf hinzuweisen, daß die Vorhofschwankung vor allem im Kindesalter und unter krankhaften Verhältnissen nicht immer nach den bekannten Formbildern beurteilt werden kann.

Die Ausschlagrichtung der P-Zacke wurde von Heck und Stoermer (43) tabellarisch für die verschiedenen Altersgruppen festgelegt, aus diesen Zusammenstellungen ist zu ersehen, daß in der Altersgruppe IV (7. - 10. Lebensjahr) P I und P II in 100% positiv gerichtet ist, während die im 2. Lebensjahr erstmals auftretende Negativität von P III schon einen Anteil von 12% erreicht hat. Die schon weitgehende Übereinstimmung mit dem Erwachsenen-EKG läßt sich in der Altersgruppe V (11. - 15. Lebensjahr) erkennen. Maroney und Rantz (74) sahen ein negatives P III in 16-20% bei 4-8 Jährigen. Sie konnten auch doppelgipfelige P II häufiger beobachten, wie sie auch Brugsch (19) im "Angst-EKG" bei Kindern im Alter von 1-14 Jahren beschrieb, dabei kam es in einigen Fällen in I und II zu Veränderungen im Sinne eines P-mitrale, in II und III zum Bild eines P-pulmonale, eine Erscheinung, die Stoermer (129) genauer definierte, als er bei labilen Kindern oftmals eine breitere P-Zacke ausmessen konnte als durch Maximalwert angegeben wird, dabei aber keine für links- oder rechtsaurikuläre Reizleitungsstörung typische Veränderung der Vorhof-Zacke fand, wenn auch verschiedenartige Formveränderungen auftraten. Hoskin und Jonescu (53), sowie Mannheimer (73) und vor diesen Dagnini (25) ermittelten bei Mädchen stets höhere und spitzere Vorhofszacken als bei Knaben.

Bei Untersuchungen über das Brustwand-EKG von Kindern im Alter von 2-14 Jahren konnten Master, Dack und Jaffe (75) das Fehlen einer P-Zacke in einer oder mehreren Ableitungen konstatieren.

Eine $\pm$ -Form der P-Zacke kann auch bei Kindern, wie Remè (101) erklärte, durch das Hochziehen des linken Schultergürtels entstehen.

Lepeschkin (68) beschrieb die Abhängigkeit der P-Dauer von der Herzfrequenz, sie nimmt ab mit zunehmender Pulsfrequenz und zwar in einem höhe-

ren Grade als die QRS-Dauer. Für die P-Dauer ermittelte er aus 2000 Fällen der Literatur für die Altersgruppe von 9-12 Jahren einen Mittelwert von 0,081 sec., für die Altersgruppe von 15-50 Jahren einen von 0,085 sec.

Heck und Stoermer (43) legten den Mittelwert für die Altersgruppe IV (7.-10. L.J.) mit 0,074 sec, min. 0,056 und max. 0,080 sec. fest, entsprechend betrugen die Werte für die Altersgruppe V (11.-15. Lebensjahr) 0,071, 0,060 und 0,080 sec.

Für Kinder vom 1.-14. Lebensjahr wird im allgemeinen ein Durchschnitt von 0,060 sec. mit einer Standardabweichung von 0,010 sec. angegeben. Über die obere Grenze von 0,080 sec. der P-Dauer bis zu einem Alter von 15 Jahren stimmen die meisten Autoren überein.

Epstein (34) bestimmte die oberste Grenze der P-Dauer für die Altersgruppe 1-14 Jahre bei P I mit 0,070, P II mit 0,080 und P III mit 0,070 sec.

Die Mittelwerte der Höhe der Vorhofsschwankung sind nach strengen Gesichtspunkten bei Kindern schwer zu ermitteln, da P oftmals außerordentlich niedrig ist oder gänzlich fehlt (Heck und Stoermer (43), zuweilen aber durch nervale Einflüsse einer beträchtlichen Schwankung unterworfen ist.

Lepeschkin (68) sah bei Kindern von 1-14 Jahren eine durchschnittliche Höhe von P I mit 0,1 (SD = 0,03), P II 0,13 (SD = 0,05) und P III 0,06 (SD = 0,05) mV.

Karnop (57) beobachtete bei Kindern in einigen Fällen im Verlaufe eines Tages eine allmähliche Abflachung der P-Zacke.

7. Das P-Q-Intervall des normalen Ruhe-EKG im Kindes- und Schulalter (Überleitungszeit)

Die normale Schwankungsdauer der atrio-ventrikulären Überleitungszeit (P-Q(R)) wird zwischen 0,12 und 0,20 sec. angegeben. Im Mittelwert liegt sie bei 0,16 sec. mit einer Standardabweichung von 0,25 sec. für den Durchschnitt der Bevölkerung. P-Q ist frequenzabhängig, was haemodynamisch und herzmechanisch erklärbar ist. P-Q ist außerdem in seiner Dauer abhängig vom Lebensalter, deshalb forderten Ohr und Porscha (92) eine nach Herzfrequenz und Lebensalter getrennte Bewertung der normalen Höchstwerte der P-Q-

Dauer, insbesondere für die niedrigen Altersstufen. Die zwischen dem Lebensalter und der Überleitungszeit bestehenden Beziehungen waren Gegenstand eingehender Untersuchungen Savilahtis (111). Er gab bei einem Untersuchungsgut von 872 Personen für die Altersgruppe zwischen 10-15 Jahren als Durchschnitt der P-Q-Zeit 0.138, als obere Grenze 0.170 und als untere Grenze 0.110 sec. an.

Alimurung und Massel (4) konnten bei einer Frequenz von 70/min den oberen Grenzwert der P-Q-Zeit von 6-13jährigen Kindern mit 0.180 sec. angeben, 0.170 sec aber für Frequenzen bis zu 90/min, 0.16 bis zu 110 min, 0.15 sec bis zu 130/min und entsprechend 0.14 sec bei Herzfrequenzen über 130/min. Die oberen Grenzwerte für Jugendliche von 14-17 Jahren lagen dabei jeweils 0.01 sec höher. Albers und Urban (3) bestimmten die rechnerische Beziehung zwischen dem P-Q-Intervall und der R-R-Zeit für Kinder und definierten sie in Abwandlung:

$$P-Q = (183 - 0.0015 R-R - \frac{R-R-54}{1000} \cdot 2.25) \cdot \sqrt{R-R}$$

Dagnini (25) fand bei Jugendlichen einen P-Q-Mittelwert von 0.16-0.17 sec und Grenzwerte zwischen 0.14 und 0.21 sec, während Master, Dack und Jaffe (75) bei 71 Kindern im Alter von 2-15 Jahren Werte von 0.10 bis 0.14 sec bestimmen konnten.

Erhebungen von Maroney und Rantz (74) erbrachten für die Altersgruppe von 7 1/2 - 9 Jahren einen Durchschnittswert der Überleitungszeit von 0.128 sec; nur selten wurden Intervalle von 0.15 sec bei normalen Kindern von unter 4 Jahren ermittelt, noch seltener aber ein Wert von 0.16 sec bei Kindern im Alter von 4-9 Jahren. Nach dem kontinuierlichen Anstieg von P-Q im 1.-5. Lebensjahr bis zum 8. Lebensjahr war später keine Erhöhung mehr ersichtlich. Bei 927 kranken und gesunden Kindern ergaben die von Epstein (34) mit Alter und Pulsfrequenz korrelierten Durchschnittswerte der P-Q-Zeit 0.14 ± 0.02 sec, dabei konnte er bei 6 % seines Untersuchungsgutes (ohne Herzgeräusche) einen, den oberen Grenzwert sporadisch überschreitenden Intervall beobachten. 42 % zeigten Verschiebungen des laufenden P-Q-Intervalls um mehr als 0.02 sec.

Engel (33) sah nach einem Absinken in den ersten Lebenswochen ein stetiges

Ansteigen der P-Q-Dauer bis zur Pubertät. Dasselbe konnten Goulder und Adams (40) für den oberen Grenzwert erkennen. Engel (33) wies auch auf

	A	B			C	
Alter	9-12	6-9	10-12	13-15	7-10	11-15
Min.	0.11	0.11	0.11	0.11	0.096	0.122
Mittel	0.135	0.13	0.135	0.14	0.132	0.126
Max.	0.20	0.18	0.20	0.20	0.175	0.190

Vergleichswerte der P-Q-Dauer aus der Literatur. Autor:

A = Lepeschkin (2000 Fälle), B = Holzmann, C = Heck und Stoermer

die Zunahme der Intervall-Zeit gemäß der Abnahme der Herzfrequenz hin, doch war bei älteren Kindern meist ein längeres P-Q als bei jüngeren auszumessen, selbst bei gleicher Herzfrequenz. Bei Poel (95) war in 0,04% der untersuchten Kinder ein P-Q-Wert wie bei den Erwachsenen (bis zu 0.03 sec) zu finden. Henckel (49) studierte die Tagesschwankungen des kindlichen EKG, wobei ihm auffiel, daß bei 6 unter 50 gesunden Kindern eine große Schwankungsbreite der Überleitungszeit registriert werden konnte, die bei 3 Fällen mit Sicherheit nicht frequenzabhängig war, bei einem Kind sogar Grenzwerte von 0.15 bis 0.21 sec berührte.

8. Der Kammerkomplex (QRS-Komplex) im Kindesalter

Wachstumsfaktoren bestimmen in erster Linie die Wandlung einzelner Elemente des QRS-Komplexes und ihre oft typische Ausbildung in verschiedenen Altersstufen. Sie wirken auf die anatomische und elektrische Herzachse und führen so zu den bekannten Formbildern in den einzelnen Ableitungen.

Die im Säuglingsalter vorherrschende Rechtsform im Extremitäten-EKG mit tiefem S I, niedrigem R I, hohem R III, großem Q III, flachem T I und einer Hebung der Zwischenstrecke in II und III usw. schwindet nach dem 2. Lebensjahr. Im Schulalter tritt nun eine weitere Rechtsablenkung der elektrischen Herzachse zutage, nachdem bis zu diesem Zeitpunkt das Potential von Q I, Q III, R I, R III laufend angestiegen, während Q II seit dem 2. Lebensjahr allmäh-

lich abgesunken ist, S I und S II erreicht die höchsten Werte in der Neugeborenen-Periode, um bis zum 2. Jahr wieder auf das Minimum abzusinken, von da an erreicht es bis zum Schulalter allmählich wieder die alte Höhe. S III nimmt ab dem 2. Lebensjahr bis zum 6.-9. Lebensjahr zu und verliert später etwas an Höhe. Das Längenwachstum des Thorax und die Steilstellung des Herzens sind bei diesen Veränderungen bedeutende Faktoren. Die Amplituden zeigen im Kindesalter wegen geringerer Thoraxwanddicke enorm größere Ausschläge als beim Erwachsenen (Mannheimer (73)). Nach Holzmann (51) beträgt die QRS-Dauer im Mittel 0.06-0.07 sec, überschreitet bei jüngeren Kindern meist nicht 0.08 sec, bei älteren nicht 0.09 sec. Während der ganzen Wachstums-Periode steigt die QRS-Dauer an, übertrifft jedoch nie den Wert bei der Geburt, obwohl das Herz um mehr als das 10fache zunimmt. Dies erklärt sich aus der Zunahme der Leitungsgeschwindigkeit.

Savilahti (111) fand für die Altersgruppe von 5-10 Jahren bei einer Frequenz zwischen 61-100/min eine QRS-Dauer von 0.068 sec, bei 81-110/min 0.074 sec und bei 101-120/min 0.071 sec. Cammann (21) gab Normalwerte zwischen 0.070 und 0.090 sec an, während Master, Dack und Jaffe (75) die QRS-Dauer im Bereich zwischen 0.060 und 0.080 sec sahen.

Alter	9-15 J. A	15-50 J. A	7-10 J. B	11-15 J. B
Min.	4.0	4.0	5.6	6.2
Mittel	6.0	8.2	7.5	7.5
Max.	10.0	10.0	9.0	10.0

QRS-Dauer. Vergleich aus d.Lit. A = Lepeschkin, B = Heck u. Stoermer

Maroney und Rantz (74) konnten bei ihren Untersuchungen an 679 Kindern einen Durchschnittswert der Kammerschwankung von 0.062 sec, mit Grenzwerten von 0.040 und 0.080 sec erheben. Richman und Master (103) bestimmten die QRS-Dauer an einem Untersuchungsgut, das im Alter zwischen 1 Woche und 10 Jahren lag, sie kamen ebenfalls zu Grenzwerten zwischen 0.060 sec und 0.080 sec.

Henckel (49) studierte die Veränderungen des EKG im Tagesablauf bei 50 Kindern und fand Schwankungen zwischen 0.080 sec und 0.11 sec.

Karnop (57) dagegen konnte keine Veränderungen der Dauer des Kammerkomplexes während eines Tagesablaufes beobachten.

Die Gestalt der Hauptgruppe, das Größenverhältnis der einzelnen Zacken zueinander bestimmen den Positionstyp, der in seiner extremen Form (z.B. Hypertrophie) für den Linkslagetyt die bekannten Kriterien aufweisen kann: Hohe R in Ableitung I, in III tiefe S-Zacke, aVL folgt I, aVF folgt III, in aVR stets negative Hauptschwankung, tiefes S in den Brustwand-Ableitungen V₁ und V₂, hohe R in den Ableitungen V₅ - V₆, deutliche Q-Zacke in diesen Positionen eventuell mit T-Inversion.

Entsprechend für den extremen Rechtspositionstyp (Hypertrophie) tiefes S I, hohes R III, Herzachse $>120^\circ$, S I + S II + S III tief, Überwiegen von R bzw. R' in aVR, hohe R in V 1 und V 2 mit Q und kleinem fehlendem S. Inversion der T-Welle in den rechten Brustwand-Ableitungen. Für die Abgrenzung der Extrem-Typen vom Pathologischen sind zahlreiche weitere Kriterien ausgearbeitet worden.

Burnett und Taylor (20) sowie Laurentius und Schüler (67) haben im späten Kindesalter bei (bis zu) 30% ihres Untersuchungsgutes Aufsplitterungen und W- bzw. M-förmige QRS-Komplexe gesehen, besonders in Ableitung III, wo dann Kombinationen wie qrs, rSr' auftraten; in aVL und aVF erschienen ebenfalls solche Abwandlungen, die auch in V 1, V 2 und V 3 auftreten können (Heck und Stoermer (43)). Klepzig und Reindell (63) u. a. wiesen auf die oftmals pathognomische Bedeutung dieser Formen hin. Brugsch (19) konnte im Angstzustand Knotungen und Splitterungen der Hauptgruppe ohne Verlängerung der Zeitdauer mehrmals beobachten. Nach Angaben von Ash (5) trat in etwa 10% seiner Elektrokardiogramme ein rSr', RSr' oder ein rSR'-Komplex zutage, insbesondere dann, wenn tiefe S I und S III-Zacken erschienen, was in Verbindung mit rSr' einer Dorsalverlagerung der Herzspitze entsprechen kann. In den sternumnahen Ableitungen kann leicht eine Doppelung der R-Zacke gefunden werden, außerdem kann dort die R-Zacke das S an Höhe übertreffen. Langzeitbeobachtungen bei 300 Kindern stellten Irving und Rosen () an, dabei fiel auf, daß der R/S-Quotient ($R/S \sim 1$) mit dem Alter des Kindes abnahm, bis im 10. Lebensjahr der Erwachsenen-Quotient ($R/S < 1$) erreicht wurde, was Battro und Mendy (9) gleichfalls bestätigen konnten.

Eine gut ausgebildete Q-Zacke registrierten Switzer und Besoain (116) in II und III, aVF, V 4, V 5 und V 6, in V 3 war eine kleine Q-Zacke seltener

zu finden, ein Anwachsen der Häufigkeit von Q-Zacken in den Brustwand-Ableitungen von V 3 (10%) bis V 8 (60-70%) war daraus zu schließen, was auch Master und Richman (103) aufzeigten. Eine "initial upward deflection" trat im Untersuchungsmaterial von Master, Dack und Jaffe (75) nie über dem Sternum in Erscheinung. Bei 11-14jährigen Kindern war in den Aufzeichnungen von Yn, Joos und Katzampes (137) eine Q-Zacke keine Seltenheit in allen unipolaren Ableitungen, meßbar aber war sie eher in aVR und aVF als in aVL. In aVF und in den praecordialen Ableitungen war die Voltage der Q-Zacke stets weniger als 25% der nachfolgenden R-Zacke. Für die Entstehung einer Q-Zacke war nach den Verfassern die initiale Septuminnervierung von links nach rechts von größter Bedeutung, während die Höhe der R-Zacke bei Kindern und Jugendlichen ihre Erklärung durch die besondere Lage des Herzens und die relative Dicke des Kammerseptums findet.

Viele physiologische Faktoren intra- und extracardialen Ursprungs bestimmen die Amplituden des Kammerkomplexes. Bis zum Schulalter läßt sich eine stetige Zunahme der Durchschnittswerte feststellen, die vornehmlich durch Herzlage und Brustwanddicke bedingt, in den Thoraxableitungen über den der Erwachsenen liegen.

Die Gegenüberstellung von Amplitudengrößen verschiedener Altersgruppen in den Standard-Ableitungen und ihr Vergleich mit den Erwachsenen-Werten läßt dies klar erkennen. (Seite 15)

Die Angaben beziehen sich auf den Mittelwert (mV-). Die Altersgruppe von 9-12 Jahren und die Erwachsenenwerte sind aus 2000 Fällen der Literatur berechnet (Lepeschkin (68)), während die Altersgruppe 11-15 Jahre dem Atlas von Heck und Stoermer entnommen ist. Für die unipolaren Extremitäten-Ableitungen stehen die Mittelwerte von 60 herzgesunden Erwachsenen nach Grewin (41) vergleichend zu den nach Heck und Stoermer angegebenen Mittelwerten für die Altersgruppe V (11.-15. Lebensjahr).

Die von Klepzig und Reindell (63) bei 100 Herzgesunden festgestellten Durchschnittswerte der unipolaren Brustwandableitungen wurden den Werten von Heck und Stoermer an die Seite gestellt.

Wie erkennbar ist, sind die Ausschläge im Kindesalter fast durchwegs größer als die der Erwachsenen. Die im frühen Kindesalter manifestierte Rechtsdrehung ist in der Altersgruppe V (11.-15. Lebensjahr) fast ausgeglichen. Das Verhältnis R/S entspricht schon dem des Erwachsenen. Die tiefe S I und Q III-

Vergleichswerte aus der Literatur: Höhe der Q-R-S-Zacken
 Altersgruppe 9-12 (Lepeschkin), 11-15 (Heck und Stoermer)

		11-15 Jahre	Erwachsene	9-12 Jahre
I	Q	0.06	0.05	0.06
	R	0.66	0.70	0.93
	S	0.18	0.20	0.19
II	Q	0.07	0.07	0.08
	R	1.09	1.20	1.47
	S	0.18	0.27	0.17
III	Q	0.11	0.08	0.14
	R	0.70	0.75	1.02
	S	0.15	0.22	0.20
aVR	Q	0.75	-	
	R	0.08	-	
	S	0.78	-	
	R'	0.16	-	
aVL	Q	0.09	0.02	
	R	0.25	0.21	
	S	0.30	0.19	
	R'	0.09	-	
aVF	Q	0.06	0.03	
	R	0.74	0.62	
	S	0.15	0.11	
	R'	-	-	
V ₁	R	0.41	0.32	
	S	1.06	1.06	
V ₂	R	0.82	0.64	
	S	1.68	1.50	
V ₃	R	0.98	0.80	
	S	1.23	1.10	
V ₄	R	1.96	1.78	
	S	0.70	0.55	
V ₅	R	1.63	1.83	
	S	0.20	0.23	
V ₆	R	1.21	1.35	
	S	0.05	0.05	

Die Altersgruppe der Erwachsenen stammt aus Erhebungen von Grewin (41).

Zacke hat sich zurückgebildet. Die R-Zacke in V 2 ist in Relation zu ihrer S-Zacke im Vergleich mit der Erwachsenen-Relation verkleinert.

Der obere Umschlagpunkt in V 6 wird mit zunehmendem Alter in seiner Differenz größer, erst im Alter von etwa 15 Jahren wird V 6 minus V 1 den endgültigen Stand beibehalten (D o 11 (27)).

9. Die S-T-Strecke im Kindesalter

Im Kindesalter konnten Burnett und Taylor (20), Gelman und Brown (38) u. v. a. meist eine steil ansteigende Zwischenstrecke feststellen, was teilweise von tieferliegender "Junction" als Ausdruck der Aktionsintensivitäts-Differenz beider monophasischen Potentiale abhängt. Frequenz, nervöse Einflüsse, Mineralverschiebungen, Durchblutungsgrößen haben einen wesentlichen Einfluß auf Gestalt und Lage der S-T-Strecke, die gewöhnlich am P-R-Niveau gemessen wird. Bei der großen vegetativen Labilität von Kindern im Reifungsalter ist eine geringfügige Verlagerung der S-T-Strecke leicht möglich.

Nur einem Ausmaß der Verlagerung von über 0.1 mV, und unter 0.1 mV in Verbindung mit Hypertrophiezeichen kann nach Untersuchungen von Heck und Stoermer (43), Klepzig und Reindell (63) pathognomische Bedeutung beigemessen werden. Reindell (96), Gelman und Brown (38) wiesen außerdem auf eine scheinbare Senkung des S-T-Segmentes hin, die durch ein negatives T der P-Zacke (Ta) zu Fehldeutungen geführt hat. Am häufigsten kamen Verschiebungen der S-T-Strecke in den Ableitungen II und III vor (Ashman (7)). Der Hauptanteil der unter der 0.1 mV-Grenze liegenden Senkungen der S-T-Strecke ist auf Grund von Frequenzerhöhungen zu registrieren.

Gammann (21) sah bei gesunden Kindern mit normaler Entwicklung keine S-T-Senkungen.

10. Die T-Zacke im Kindesalter

Gewöhnlich ist in Ableitung I und II T positiv, in Ableitung III kann T +, -, oder diphasisch sein (Lepeschkin (68)). Zahlreiche Untersucher fanden in Ableitung III bis zu 25% negative T-Zacken, was bei quergelagertem Herz

mit Rechts- oder Linksablenkung der elektrischen Herzachse möglich ist und somit auch auf jüngere Personen zutreffen kann. Tudbury und Atkinson (131) sahen in sehr seltenen Fällen auch in II eine negative T-Zacke, die dann aber - in Übereinstimmung mit den meisten anderen Autoren - pathologischen Ursprungs sein kann (Maroney und Rantz (74)). Holzmann (51) konnte bei Kindern bis zu 16 Jahren links parasternal häufig eine negative

C ₁	-	-	neg. oder diphas.	+
C ₂	-	neg. oder diphas.	+	+
C ₃	neg. od. diphas.	+	+	+
C ₄	+	+	+	+
C ₅	+	+	+	+

Alter	% - Häufigkeit			
10	7.7	21.4	47.2	23.7
11	5.6	16.8	53.3	24.3
12	2.8	8.0	60.2	29.0
13	2.2	7.6	41.3	48.9
14	2.3	3.9	39.8	54.0

Ausschlagrichtung der T-Zacke, ihre Form und die prozentuale Häufigkeit des Auftretens (nach Michel und Reinfried (85)).

T-Schwankung feststellen. Dabei wich das bei Säuglingen noch bis V 4 reichende negative T mit zunehmendem Alter immer mehr nach den Positionen V3 und V2 zurück, bis dann im späten Kindesalter die T-Zacke in V2 immer häufiger positiv wurde. Michel und Reinfried (85) gaben einen genauen Überblick über das Verhalten der T-Zacke vom 1. - 14. Lebensjahr, fünf Ab-

leitungen zeigten in Bezug auf die Ausschlagrichtung von T je vier verschiedene Möglichkeiten, die im Alter zwischen dem 10. und 15. Lebensjahr in der Häufigkeit ihres Auftretens sich deutlich veränderten.

Gewöhnlich erschien bei normal entwickelten Kindern erst im Alter von 9 Jahren in V_2 eine positive T-Zacke. Battro und Mendy (9) konnten bei 21 Kindern der Altersgruppe von 6-10 Jahren in etwa 10% links des Sternums eine Negativität oder Diphase der T-Zacke erkennen, nicht aber über V_5 und V_6 .

50 Kinder wurden durch Richman und Master (103) untersucht, sie waren 1-16 Jahre alt; in drei praecordialen Ableitungen am linken Sternalrand (2., 3. und 4. ICR) zeigte sich in 64% eine T-Negativität, in 32% Diphase oder isoelektrisches Verhalten und nur in 4% war die T-Zacke positiv. In einer kleinen Anzahl von Fällen ermittelte Reynolds (102) die Ausschlagrichtung der T-Zacke, es trat ab dem 13. Lebensjahr keine Diphase oder Negativität in V_2 , V_4 und V_5 mehr auf.

In sieben Ableitungen im 4. ICR, die beginnend am rechten Sternalrand im Abstand von je 2 cm geschrieben wurden, sahen Master, Dack und Jaffe (75) bei 71 gesunden Kindern im Alter zwischen 2 und 15 Jahren eine zunehmende Tendenz zur positiven Ausschlagrichtung in Richtung Apex, außer bei ganz jungen Kindern, bei denen selbst an dieser Stelle negative T-Wellen erschienen.

Tudbury und Atkinson (131) entdeckten selten negative oder biphasische T-Wellen in den Ableitungen I und II, aber in jeder praecordialen Ableitung, bei älteren Kindern sogar auch in den rechtspraecordialen Ableitungen, was Switzer und Besoain (116) ebenfalls äußerten.

Zum Vergleich die durch Heck und Stoermer (43) eruierten Ausschlagrichtungen der T-Zacken in % und die prozentuale Häufigkeit negativer T-Zacken in den Brustwand-Ableitungen, wie sie von Kuskín und Brockman (66) an einem Untersuchungsgut von 321 Kindern erhoben wurde, sowie der Prozentsatz negativer T-Ausschläge in den Brustwand-Ableitungen der Untersuchungen von Vaquero, Limon Lason und Limon Lason (134). Das Vorkommen negativer T-Zacken in V_6 (oder V_5) bei Kindern im Alter zwischen 5 und 11 Jahren zählte Suarez und Suarez (115) schon zum abnormen Verhalten.

Abl.	+	-	+-	-+	iso
I	100	-	-	-	-
II	100	-	-	-	-
III	74	24	-	-	2
aVR	-	100	-	-	-
aVL	92	-	-	-	8
aVF	98	-	-	-	2
V ₁	4	88	2	6	-
V ₂	77	19	4	-	-
V ₃	96	4	-	-	-
V ₄	100	-	-	-	-
V ₅	100	-	-	-	-
V ₆	100	-	-	-	-

Ausschlagrichtung der T-Zacke in % nach Heck und Stoermer.

Alter	V 1	V 2	V 3	V 4	V 5
8-9	71	37	10	1.8	0
10-11	72	18	6	1.5	0
12-14	78	14	2	0	0

Häufigkeit von neg. T-Zacken in % (Kuskin und Brockman).

Alter	V 1	V 2	V 3	V 4	V 5-6
0-10	88	75	58	15	8
10-15	74	35	16	6	0
15-20	42	13	5	2	0
20-30	32	7	3	0	0
30-40	34	6	0	0	0
40-60	32	2	0	0	0

Verteilung der neg. T-Zacken bei 500 Mexikanern nach Vaquero, Limon Lason und Limon Lason (zit. Lepeschkin)

Ein negatives oder isoelektrisches T in V2 bei Personen über 20 Jahren war gemäß den Erhebungen Lepeschkins schon verdächtig auf pathologischen Ursprung, während Holzmann (51) die Grenze um das 30. Jahr sah, letzterer wies auch auf die Tatsache eines in kurzer Zeitspanne ablaufenden Wechsels der T-Zacke von einer Negativität zur positiven Ausschlagrichtung hin, wie er bei Kindern im Bereich des linken Sternalesrandes auftreten kann.

Dazu berichtete insbesondere Leutz (70), der eine von der Nahrungsaufnahme abhängige Form und Richtung der T-Zacke in der Hälfte seines Untersuchungsgutes aufzeigen konnte, T war stärker positiv in nüchternem Zustand als nach der Mahlzeit.

Für die Standard-Ableitungen gibt Lepeschkin (68) bei Kindern im Alter von 1-14 Jahren folgende Durchschnittswerte der Amplituden der T-Zacke an: Ableitung I = 0,26 mV (SD = 0,09), Ableitung II = 0,29 mV (SD = 0,11), Ableitung III = 0,04 mV (SD = 0,11).

Die Mittelwerte der Altersgruppe von 9 bis 12 Jahren (Lepeschkin (69)), der Altersgruppe von 11-15 Jahren (Heck und Stoermer (43)), und die des Erwachsenenalters I= (Lepeschkin (69)), II= Holzmann (51),

letztere Daten an 1000 Herzgesunden ermittelt, seien gegenübergestellt:

Abl.	9-12 Jahre	11.-15.L.J.	Erwachsene I	Erwachsene II
T I	0.33	0.20	0.25	0.25
T II	0.00	0.27	0.29	0.31
T III	0.17	0.02	0.05	0.08

Mittelwerte der T-Zackenhöhe (in mV) in den Standard-Ableitungen. Im Vergleich 3 verschiedene Autoren. Erklärung siehe S. 20.

Vaquero, Limon Lason und Limon Lason (134) gaben nachfolgende Werte an, die im Auszug die Mittelwerte der T-Zacken in den unipolaren Extremitäten-Ableitungen und in den Brustwand-Ableitungen wiedergeben. Für die Altersgruppe 10-15 Jahre (49 Fälle), 15-20 Jahre (51 Fälle) und für die Gruppe zwischen 20 und 30 Jahren (116 Fälle).

Alter	aVR	aVL	aVF	V 1	V 2	V 3	V 4	V 5	V 6
10-15	-0.26	0.12	0.16	-0.25	-0.15	-0.02	0.07	0.06	0.06
15-20	-0.19	0.06	0.18	0.07	0.35	0.42	0.47	0.35	0.29
20-30	-0.27	0.09	0.24	0.13	0.50	0.57	0.60	0.41	0.33

Mittelwerte der T-Zacken in den aV- und Brustwandableitungen nach Vaquero, Limon Lason und Limon Lason. Erklärung siehe oben.

In den normalen unipolaren Extremitäten-Ableitungen ist T immer in aVR negativ und fast immer positiv in aVF und variabel in aVL. In aVL ist es negativ, wenn bei Rechtsablenkung des Herzens die QRS-Gruppe im Hauptauschlag negativ ist (Kneese de Melo (64)).

Bengtson (12) fand bei Kindern ein allmähliches Ansteigen der T-Zacken in den praecordialen Ableitungen von links nach rechts, mit den höchsten Erhebungen in der Position der Abl. IV.

Im 24-Stunden-Rhythmus konnte Karnop (57) oftmals T II und T III spitzer und höher werden sehen. Brugsch (19) registrierte in mehreren Fällen des kindlichen Angst-EKG eine T-Abflachung, meist nur in einer einzigen Ableitung.

11. Die Q-T-Dauer im Kindesalter

Die Q-T-Dauer ist der Ausdruck für die Gesamtdauer der Ventrikelaktivität, sie reicht vom Beginn von QRS bis zum Ende von T. Die Q-T-Dauer ist am längsten in Abl. II, am kürzesten in III, wie Untersuchungen von Huttmann (54) ergaben. Wenn ein negatives T durch Aktivitätsverlängerung hervorgerufen wurde, so ist Q-T in der Abl. mit dem tiefsten T am kürzesten.

Die Q-T-Dauer ist frequenzabhängig, mit zunehmender Herzfrequenz verkürzt sie sich. Es gibt viele Formeln, die das Verhältnis von Q-T zur Frequenz darstellen. Die dadurch gewonnene Größe wird als relative Q-T-Zeit bezeichnet. Für die Berechnung im Kindesalter eignet sich nach Cammann (22), Ohr und Porscha (93) die Hegglin-Holzmann'sche Formel, die die von Bazett aufgestellte Quadratwurzel $Q-T = K \sqrt{R-R}$ mit der veränderten Konstanten $K = 0.39$ in einem Variationsbereich von ± 0.04 festlegt. Cammann (22) und insbesondere Ohr und Porscha (93) konnten jedoch die Streubreite von 0.04 nicht als einheitlich gültig betrachten, denn sie nahm bei höheren Frequenzen deutlich ab, 0.03 bei 100/min, 0.02 bei 130/min. Abweichende Werte konnten auch Heck und Stoermer in diesen Bereichen erheben. Ältere Kinder hatten nach Berechnungen von Ohr und Porscha (93) ein $K = 0.393$ mit einer Streuung von 0.0134, während Epstein (34) 0.37 bzw. ± 0.02 fand. Heintzen und Atasagun (46) untersuchten die Q-T-Zeit in ihrer von der Herzfrequenz unabhängigen Entwicklung, dabei kamen sie zu dem Ergebnis, daß bei jeweils konstanter Frequenz der durchschnittliche Zuwachs der Q-T-Zeit pro 3 Jahre Lebensalter etwa 1/200 sec beträgt. Ähnliche Feststellungen konnten auch Alimurung, Lester und Craigie (4) machen, als sie an 517 Kindern die Alters- und Geschlechtsabhängigkeit der Q-T-Dauer (in Relation zur Frequenz) berechneten.

Außer durch Alter, Geschlecht und Herzfrequenz wird die Q-T-Zeit auch noch durch nervöse Einflüsse, Herzmechanik, Elektrolytverschiebungen, Krankheiten usw. beeinflusst. Man konnte schon früh die Vaguswirkung für die Verlängerung der relativen Q-T-Dauer verantwortlich machen. Karnop (57) und Henckel (49) sahen Verlängerungen während tagesrhythmischen Untersuchungen bei Kin-

dern. Yn, Joos und Katzampes (137) gaben eine übersichtliche Darstellung der korrigierten Q-T-Dauer bei Kindern und diskutierten die Einflüsse, die auf diesen Zeitwert des EKG einwirken.

Die für die Diagnose Spasmophilie charakteristischen Veränderungen des EKG haben besonders für das frühe Kindesalter Bedeutung.

12. Die U-Zacke

Die U-Zacke tritt nach der T-Zacke als breite niedrige Welle auf und ist in etwa 50-90% der Standard-Ableitungen sichtbar. Je nach bestehenden Einflüssen kann die U-Zacke zwischen 0.16-0.25 sec dauern. Sie kann abhängig von der Frequenz und anderen Einwirkungen mit der vorausgehenden T-Zacke sowie mit der nachfolgenden P-Zacke verschmelzen (Lepeschkin (68)).

Bei Kindern kommt die U-Zacke wegen der allgemein höher liegenden Frequenz weniger zum Vorschein (Myers und Klein (87)). Lepeschkin (68) konnte die U-Zacke deutlich bei jungen gesunden Personen und nach einer hohen positiven T-Zacke sowie bei Normallage der QRS-Achse sehen. Bei Linksablenkung der elektrischen Herzachse war sie nach Vesa (135) gut ausgeprägt in Abl. II und III zutage getreten. Pathologische Zustände und Medikamente können die U-Welle in Größe, Gestalt und Ausschlagrichtung verändern. Auch Mineralverschiebungen und Herzmuskelveränderungen sind für die Ausformung der U-Welle von Bedeutung (Holzmann (51)).

II. Einflüsse der Körperhaltung (Stehen) auf das EKG im Kindesalter

1. Allgemeine Erscheinungen, Frequenz, elektrische Herzachse

Nach dem Aufstehen tritt zunächst eine Beschleunigung der Herzfrequenz auf (Schellong (117)), die für sich allein schon elektrokardiographische Veränderungen bewirkt, welche durch andere Faktoren, wie Senkung bzw. Hebung des Zwerchfells, Steilerstellung und Drehung der Herzachse - meist im Uhrzeigersinn (Holzmann (51)) - Bauchdeckentonuserhöhung (Schlomka und Reindell (122), Schlomka und Radermacher (125)), Abnahme

der Leitfähigkeit der Lungen (Lepeschkin (69)) in ihrer Erscheinung weiterhin kompliziert werden. Die Änderungen der Haemodynamik manifestieren sich ebenfalls im Steh-EKG, sie sind in ihren pathologischen Abweichungen gut erkennbar, können aber, wie Heck und Stoermer (43) feststellen, hinter vollkommen normalem EKG verborgen bleiben.

2. Die P-Zacke

Entsprechend der nach dem Aufstehen einsetzenden Sympathikotonisierung erhöht sich nach Untersuchungen Holzmanns (51), Mechelkes und Christians (78) u.a. auch bei Kindern P II und P III.

Gierthmühlen (39) sah ein negatives Ruhe-P in III sehr oft positiv werden. Das Maximum der Amplitudenerhöhung war in Studien von Mayerson und Davis (77) meist erst in der 15. Minute nach dem Aufstehen erreicht. Verlängerungen von P konnten Boeck und Haebisch (16) meist bei orthostatischen Dysregulationen ausmessen. Solche funktionellen Störungen traten samt ihren elektrokardiographischen Abweichungen bei den Versuchen von Kirchhoff und Eichler (61) besonders häufig in der Praepubertät und dann wieder vermehrt bei Mädchen und Accelerierten auf. Cammann (21) bemerkte bei Zunahme der P-Amplitude oft Einkerbungen von P III.

3. Die Überleitungszeit (P-Q-Strecke)

Eine Verkürzung der Überleitungszeit konstatierte Savilahti (111) in 70% seiner Fälle, während die übrigen 30% keine Veränderungen aufwiesen. Die dabei häufig in Erscheinung tretende, über das eigentliche Maß der Belastung hinausreichende Verkürzung (in Relation zur Frequenz) sahen Myerson und Davis (77) durch Sympathikotonus ausgelöst.

4. Der QRS-Komplex

Gewöhnlich weicht nach dem Aufstehen die QRS-Achse nach rechts ab (Erkelenz (35)) und zwar im Durchschnitt um $10-15^{\circ}$, dadurch entsteht eine Zunahme der Amplitude von S I, R II und R III. R I verkleinert sich meist. Gierthmühlen (39) entdeckte bei Kindern aber relativ häufig eine Linksablenkung der Herzachse, wodurch R II und R III meist niedriger werden, wäh-

rend die S-Zacke entweder zunimmt oder gleich bleibt. Die Ursache dieser Erscheinung sahen Bayer und Reindell (10) in der Hebung des linken Zwerchfellanteiles. Kenth (58) machte jedoch die unterschiedliche Stellung des linken Schultergürtels dafür verantwortlich, was er bei Untersuchungen an 240 Kindern im Alter von 3-15 Jahren aufweist. Andere Gründe wurden in der Sagittaldrehung der Herzachse vermutet. Schlomka (119) stellte wiederum keine Gesetzmäßigkeit des Typwandels beim Übergang vom Liegen zum Stehen fest, d. h. sie hoben sich im Mittel auf. Q III und manchmal auch Q II werden beim Aufstehen meist tiefer.

Schellong (117), Boeck und Haebisch (16) konnten im allgemeinen eine QRS-Verkürzung bei Lagewechsel verzeichnen, bei einem Drittel der Fälle aber trat eine QRS-Verlängerung auf, was auf Zusammenhänge mit der Verringerung der Blutdruck-Amplitude und des Schlagvolumens schließen läßt. Dabei war wie Reindell, Bayer und Assmann (97) es beschrieben, die QRS-Verkürzung oftmals stärker als die Frequenzzunahme es erwarten ließ.

5. Die S-T-Strecke und die T-Zacke

Durch Drehung der Herzachse nach dem Aufstehen wird außer der QRS-Achse auch die T-Achse steiler gestellt. In allen Ableitungen werden dadurch die T-Zacken etwas flacher, besonders aber in den Ableitungen II und III (Holzmann (51), Bonner und Durant (18), Heck und Stoermer (43) u. v. a.). Der Winkel zwischen beiden Achsen tendiert zum Größerwerden. T III kann negativ sein, T II bleibt aber immer positiv (Flaum und Nagl (36)). Die T-Zacke im Brustwand-EKG bleibt nach Lepeschkin (69) aber immer positiv über den links-praecordialen Ableitungen, außer bei orthostatischen Störungen, wo Lutterbeck (72) meist nur in diesen Ableitungen eine T-Negativität auftreten sah. Bei der weniger häufigen Linksablenkung kann T I niedriger oder negativ, T III aber höher positiv werden (Ashman, Gardberg und Byer (8), Reindell und Bayer (97), Kienle (59)). Die zuweilen sichtbaren leichten S-T-Senkungen nach dem Aufstehen lassen auf Beziehungen zum veränderten peripheren Widerstand und zur Frequenzänderung schließen.

Meist sind sogenannte Aufsteh- und Spätreaktionen voneinander zu trennen (Holzmann (51)), bei denen sich die T-Veränderungen schnell manifestieren, sich allmählich zurückbilden, um nach längerem Stehen wieder aufzu-

ten, was die Forderung nach einer EKG-Registrierung im 2-Minuten-Abstand (Heck und Stoermer (43)) bis zur 15. Minute nach dem Aufstehen berechtigt erscheinen läßt, Neurozirkulatorische und körperbauliche Gründe haben neben dem Alter, der Atmung, weitgehenden Einfluß auf Veränderungen der Endgruppe nach dem Aufstehen. Nach Lepeschkin (69) sind für T-Veränderungen verantwortlich; 1. Herzdrehungen (unmittelbar nach dem Aufstehen), 2. Frequenzzunahme (wenn Ventrikelgradient seine Richtung beibehält), 3. relative oder absolute Coronarinsuffizienz. Oftmals spielen alle drei Gründe zusammen.

6. Die Q-T-Zeit

Entsprechend der Frequenzsteigerung verkürzt sich die Q-T-Dauer nach dem Aufstehen, kehrt jedoch nach einiger Zeit zu normalen oder subnormalen Werten zurück (Mechelke und Christian (78)).

III. Einwirkung körperlicher Belastung auf das EKG im Kindesalter

Das sogenannte Belastungs-EKG kann während und nach einer körperlichen Belastung registriert werden. Dadurch empfiehlt sich die Trennung des eigentlichen Belastungs-EKG vom Erholungsphasen-EKG.

1. Sinusrhythmus

Bengtson (12) sah nach Belastung bei Kindern zuweilen eine Sinusarrhythmie ohne Formveränderungen von P auftreten, die in einigen Fällen auch noch nach der Belastung anhielt; er schrieb dieser Erscheinung keine pathologische Bedeutung zu. Eine Zunahme der respiratorischen Arrhythmie, sie wird meist nur in niedrigem Frequenzbereich registrierbar sein, kurz nach Beendigung der Belastung konnten Reindle (96) und Cammann (22) auch nicht als krankhaftes Ereignis werten.

2. Die P-Zacke

P II und P III nehmen gewöhnlich nach Belastung an Größe zu (Einthoven (31), Kienle (59), Reindell (99), Mellerowicz (79) u.v.a.). P I dagegen nimmt meist ab, vergrößert sich aber ebenfalls bei erheblicher Belastung (Reindell (99)). P III, wenn negativ, kann nach der Belastung positiv werden, was von einer Deviation der P-Achse herrührt (Kienle (59), Laurentius und Schüler (67)), die aber nach Untersuchungen von Ehni (30) bei Kindern meist nicht mit einer parallelen Verschiebung der R- und T-Achse einhergeht. Hauptsächlich der erhöhte Sympathikustonus ist für die im Belastungs-EKG auftretende Amplitudenvergrößerung der Vorhofs-Zacke von Bedeutung. In der Erholungsphase kommt es dann zu einer langsamen Rückbildung der P-Erhöhung. Boeck und Haebisch (16) beschrieben eine P-Verlängerung während der Arbeitsphase, Reindell und Mitarb. (100), Holzmann (51) u.a. konnten sie nach der Belastung beobachten, andererseits wurde eine Verkürzung der P-Dauer mit der Frequenzzunahme in Verbindung gebracht. Die elektrische Herzachse von P weicht in den meisten Fällen nach rechts ab, was durch eine tiefere inspiratorische Mittellage des Zwerchfells ausgelöst werden kann.

3. Das P-Q-Segment

Besonders bei jungen Personen kommt es häufig im Belastungs-EKG zu einer Senkung des P-Q-Intervalls, proportional der Erhöhung von P, aber meist nicht über 0,15 mV. Die Kurvenstrecke zeigt dabei manchmal einen nach oben konkaven Bogen, was der Vertiefung einer negativen Vorhofschwankung, bzw. einer Senkung der P_{Ta} -Strecke zuzuschreiben ist. (Reindell u. Mitarb. (100)). Die P-Q-Strecke ist in 65,5% gleich nach mittlerer Belastung verkürzt und wird in der 3. Minute der Erholungsphase wieder normal (Laurentius und Schüler (67)). Die Verkürzung ist dabei größer als es der Frequenzsteigerung entspricht (Schlomka (120)) und dabei deutlicher ausgeprägt bei jungen als bei alten Menschen (Savilahti (111)).

Die P-Q-Zeit ist besonders in den jüngeren Altersgruppen getrennt nach Frequenz und Lebensalter zu bewerten (Ohr und Porscha (92)). Bengtson (13) registrierte bei 11-14-jährigen gesunden Kindern bei einer Frequenz von 154/min eine P-Q-Zeit von 0,120, bei 168/min 0,112 und bei 177/min 0,110 sec. Dabei stellte er fest, daß bei schwerer Belastung mit Frequenzen um 170/min in allen Altersgruppen unabhängig zum Initialwert, Alter und Ge-

schlecht die Überleitungszeit auf 0.11 sec zusammenschrumpft. Sie gelangte nicht wieder vor der 4. - 10. Minute nach Belastung auf ihren Ruhewert zurück. Ob irgendeine Beziehung zur Pulsfrequenz nach der Belastung dabei bestand, war nicht feststellbar. Keiner der gemessenen Werte nach Belastung war über oder unter dem Ruhewert mit mehr als 0.01 sec hinausgegangen. Die Messung der P-Q-Werte bei diesen Pulszahlen war oft sehr erschwert.

Reindell, Klepzig und Steim (99) sahen bei stärkster physischer Belastung die P-Q-Zeit sogar verlängert. In der Erholungsphase konnte bei Untrainierten und vasolabilen Personen auch ein Unterschreiten des Initialwertes der P-Q-Zeit festgehalten werden (Delius und Reindell (98), Schlo-mak und Reindell (122)). Wenn unter Belastung eine Verkürzung der Überleitungszeit auf Normwerte eintrat, was Ehni (30) in ihren Belastungsversuchen bei Kindern auffiel, so handelte es sich meist um einen erhöhten Vagustonus in Ruhe (bei Trainierten).

Mellerowicz (79) sah in der Verkürzung der P-Q-Zeit nach Arbeitsleistung eine Resultante zahlreicher Faktoren, besonders der Tonuslage, der cardialen Stoffwechselsituation, Ermüdungsfaktoren, die auch die Pulsfrequenz - aber nicht im gleichen Maße - beeinflussen.

4. Der QRS-Komplex

Zur exakten Ausmessung von QRS sind Papiergeschwindigkeiten während der Registrierung des Belastungs-EKG von mindestens 100 mm/sec nötig.

Schellong (117) stellte mit Hilfe des beschleunigten Papiertransportes (120 mm/sec) für den Normalfall eine Verkürzung der QRS-Dauer um 0.002 Sekunden fest, die er bei Herzkranken vermißte, welche meist mit einer sofortigen oder sekundären Verlängerung reagierten. In wenigen Fällen war aber trotz Tachycardie keine Veränderung der QRS-Dauer erkennbar (Reindell, Bayer und Assmann (97)).

Bengtson (13), der vergleichende Belastungsversuche bei Erwachsenen und Kindern anstellte, erkannte die von der Frequenz unabhängige Verkürzung der QRS-Dauer, die er bei schwerer Belastung bis auf 90% des Ruhewertes sich abkürzen sah, in der 4. Minute nach Belastung waren aber meist 97-98% wieder erreicht. Ehni (30) sowie Laurentius und Schüler (67) konnten bei normalen Jugendlichen niemals eine Verlängerung nach Belastung registrieren,

die Verkürzung war bei Jugendlichen am deutlichsten in Ableitung I. Infolge eines tieferen Zwerchfellstandes wird bei Belastung der größte QRS-Vektor in den Extremitäten-Ableitungen meist nach rechts abgedreht, wobei dann in der 4. Minute nach Belastung eine Linksschwenkung folgt. Die normale Inspiration zeigt die gleiche Wirkung, doch nicht so ausgeprägt wie bei Belastung. Eine Linksdrehung primär nach Belastung kommt seltener vor, außer bei pathologischen Linksherzen, sie wird durch eine Drehung um die Herzlängsachse gegen den Uhrzeigersinn bedingt.

Amplitudenveränderungen können durch die Achsendrehung in Erscheinung treten, sie müssen aber, wie Ehni betonte, nur im Hinblick auf diese beurteilt werden. Unmittelbar nach Belastung sah Lepeschkin (69) eine Amplitudenverkleinerung in den Standard- und Brustwand-Ableitungen, die in den folgenden Minuten von einer Erhöhung gefolgt wird. Eine Verkleinerung aller R-Zacken unter einen Wert von 0.5 mV erschien verdächtig, in 60% war aber R in allen drei Standard-Ableitungen nicht unter 0.5 mV verkleinert.

5. Die S-T-Strecke

In ihr spielen sich die wichtigsten und mannigfaltigsten Reaktionen ab, da sie am empfindlichsten auf Stoffwechselvorgänge reagiert und von mechanischen Faktoren, der Herzfrequenz, dem Schlagvolumen, dem neurovegetativen Tonus, dem Trainingszustand, der Ermüdung der O₂-Belieferung und der Elektrolytlage beeinflusst wird (Holzmann (69)). Es kommen S-T-Hebungen und -Senkungen vor.

Die Trennung normaler Reaktionen von schon pathologischen S-T-Veränderungen läßt sich schwer treffen, erst eine typische Form, sowie das Überschreiten einer gewissen Zeitdauer oder eines bestimmten Senkungs- oder Erhöhungsmaßes, weist auf sicher krankhafte Verhältnisse hin. Schon die Bestimmung des eigentlichen S-T-Niveaus wird bei hohen Frequenzen oftmals unmöglich, da die U-Welle unter die noch nicht beendete T-Welle "kriechen" und sie samt der nachfolgenden P-Q-Strecke anheben kann, oder umgekehrt, der Endteil kann die P-Q-Strecke in seine Senkung mithineinziehen (Schellong (117), Korth (65), Holzmann (51), Gelman und Brown (38) u. a.).

Switzer und Besoain (116) berichteten von einer nur geringfügigen Ab-

weichung der S-T-Strecke von der Null-Linie bei Kindern. Laurentius und Schüler (67) untersuchten die Endstrecke bei mittlerer Belastung, wobei in der Mehrzahl der herzgesunden Fälle ein isoelektrischer Verlauf ersichtlich war. Ehni hat bei ihren Arbeiten über Belastungsversuche bei Kindern eine S-T-Senkung dann für pathologisch erklärt, wenn sie sich nach Belastung stärker ausbildete. Reindell, Weyland, Klepzig, Schildge und Musshoff (100) registrierten bei 8 von 16 jungen Skiläuferinnen nach einem 9 km-Langlauf S-T-Senkungen, die nach einer Stunde wieder zurückgebildet waren.

Senkungen der Endstrecke über 0,1 mV bei mäßiger Belastung in ein oder zwei Ableitungen vermerkte Mellerowicz (74) in 0% seiner Fälle, in 19% aber eine Senkung unter 0,1 mV; nach stärkerer Belastung von 64 Sportlern trat bei 19,4% der Untersuchten eine S-T-Depression auf. Am häufigsten fanden sich diese Merkmale in der II. und III. Ableitung. Steele und Ohr (130) sahen im muldenförmigen Verlauf von Senkungen unter 0,1 mV ganz sichere pathologische Zeichen, vor allem bei adäquater Belastung. Verdächtig auf eine Funktionsstörung ist nach Reindell und Mitarb. (100) eine S-T-Depression nach geringer oder mittlerer Belastung. Sie hielten einen lediglich vertieften Abgang von S-T mit ansteigender, direkt in die T-Zacke übergehender Zwischenstrecke für normal. Clasing und Durusoy (24) konnten bei ihren Untersuchungen an 85 Rekruten keine einzige ischämische Form der S-T-Senkung beobachten, die sie in einer horizontal verlaufenden S-T-Strecke mehr als 0,2 mV unterhalb der Null-Linie oder in muldenförmigen und descendierenden Strecken sehen.

Als Reaktionen von fraglicher Bedeutung stellten sich Holzmänn (51) Befunde dar, mit S-T-Senkungen im Liegen sogleich nach Belastung bei Frequenzen unter 110-120, wobei der S-T-Abgang von der S-Zacke an gesenkt ist, die S-T-Strecke einen ansteigenden Verlauf nimmt und das Ausmaß der Senkung in den Extremitäten-Ableitungen 0,15 mV, in den Brustwand-Ableitungen aber 0,20 mV nicht überschreitet.

In 58% aller tachycard reagierenden Fälle im sogenannten Angst-EKG des Kindes zeigten sich, wie Brugsch (19) berichtet, S-T-Senkungen. Slapak (114) wies darauf hin, daß bei der vegetativen Labilität der Jugendlichen S-T-Senkungen erklärbar seien. Bengtson (12) beobachtete bei Kindern Senkungen des S-T-Abschnittes häufig in den Brustwandableitungen, die aber meist 0,1 mV nicht überschritten, seltener waren diese aber in den Extremitäten-Ableitungen zu sehen. In Ableitung I hatten sie einen Grenzwert

von 0,05 mV, in II und III und in aVF von 0,1 mV. In den praecordialen Ableitungen war die Schwankungsbreite zwischen Ruhepotential und maximaler Abweichung + 0,06 sowie -0,07 mV.

6. Die T-Zacke

Ein Unverändertbleiben der T-Zacken oder eine vorübergehende gleich nach der Belastung erscheinende Überhöhung - wahrscheinlich infolge Zunahme des Schlagvolumens im Liegen -, die in eine Abflachung übergeht, welche auch schon während der Belastung zutage treten kann, gehört nach Holzm ann (51) noch in den Normbereich.

Während leichter Belastung und während der ersten 30-60 Sekunden nach erheblicher Belastung zeigte sich bei den eingehenden Untersuchungen Reindells die T-Zacke abgeflacht (primäre Abflachung), was Ehni (30) und Bengtson (12) bei ihren Belastungsversuchen an Kindern ebenfalls konstatierten. Die primäre Abflachung sollte in der 2.-3. Minute nach der Belastung ihren Ruhewert wieder erreicht haben, folgt aber nach diesem Zeitpunkt eine erneute Amplitudenverkleinerung (sekundäre Abflachung), so müssen Belastungsgröße, Trainingszustand und Alter des Probanden eingehend erwogen werden, um exakte Aussagen über seine Herzgesundheit machen zu können.

Nach Belastung verhält sich die T-Zacke in V 1 und V 2 verschieden, wird aber meist stärker positiv oder weniger negativ. Über dem linken Praecordium kann sich T verhalten wie in Ableitung I und II und entweder eine primäre Verkleinerung (Schlomka, Reindell und Malamani (123)) und später eine Überhöhung zeigen. T III kann auch beim Gesunden (ohne T I und T II) nach Belastung geringfügig negativ werden. Ehni (30) fand in 83,9% von 180 Kindern eine primäre Verkleinerung. In 3 Ableitungen in 39%, in Ableitung I und II in 31,7%, in II und III in 9,6%. Erhöhungen der T-Zacken unmittelbar nach starker Belastung sind besonders bei vegetativ Labilen (Kienle (59)) und somit auch bei Jugendlichen häufig anzutreffen. Sie sind besonders deutlich in Ableitung II und III sichtbar.

7. Die Q-T-Zeit

Die relative Q-T-Zeit ist nach dem Arbeitsversuch bei Kindern oft deutlich verkürzt (v. Dungen (29); Ohr (91)) bis etwa 3,7% ihres Ruhewertes,

während sie bei Sportlern bis zu 10% erreichte (Reindell). In vielen Fällen ist sie am Anfang der Belastung und während der ganzen Zeit leichter Belastung verlängert (Schlomka, Reindell und Malamani (123)). Bei mittleren Arbeitsleistungen geht die Verkürzung manchmal über die frequenzbedingten Werte hinaus, nach großen Belastungen wird sie im Verhältnis zur Frequenz wieder geringer. Die mit den Pulswerten in Korrelation gebrachte Q-T-Zeit zeigte in Bengtsons (13) Untersuchungen keinen Unterschied zwischen Kindern und Erwachsenen.

8. Die U-Zacke

Die U-Zacke erhöht sich gewöhnlich nach geringer oder mittlerer Belastung (Holzmann und Wuhrmann (52)). Schon nach mäßiger Tachycardie heben sie sich ab, bevor die T-Zacke die Null-Linie wieder erreicht hat, sie können dabei die P-Zacken überlagern. Ein Auftreten negativer U-Zacken besonders in Ableitung II oder über der Apex weist meist auf pathologische Verhältnisse hin. Nach starker Belastung sah Delius (23) die U-Zacke sich oftmals reduzieren.

B. Zur Methodik

I. Untersuchungsgut

1. Zum Problem der Altersgruppen- und Reifestufen-Einteilung bei Untersuchungen über das EKG im Kindesalter

Battro und Mendy (9) teilten ihr Untersuchungsgut bei Studien über das praecordiale EKG im Kindesalter in drei Gruppen ein: A (0-2 Jahre), B (3-5 Jahre), C (6-10 Jahre). Den ersten 6 Lebensmonaten ordneten sie eine Sonderstellung zu.

In ihrer Arbeit über das EKG von 679 gesunden Kindern kritisierten Maroney und Rantz (74) die im amerikanischen Schrifttum bis dahin oftmals nicht berücksichtigte Unterscheidung der physiologischen Altersgruppen, die Querschnitts-Untersuchungen durch ganz verschiedene Reifestufen zuließ und deshalb zu unbrauchbaren Mittelwerten führen mußte. Sie benützten eine Altersgruppierung in der 12-Monatseinteilung: I. (0-6 Monate), II. (6 Monate - 1 1/2 Jahre), III. (1 1/2 - 2 1/2 Jahre) usw., die letzte Gruppe reichte von 7 1/2 - 9 Jahre.

Tudbury und Atkinson (131) untersuchten 100 Kinder im Alter zwischen 12 Stunden und 4 Jahren. Yn, Joos und Katzapfes (137) studierten die unipolaren Ableitungen bei Kindern, wobei sie folgende Gruppeneinteilung wählten: I. 0-2 Jahre, II. 2-4 Jahre, III. 5-7 Jahre, IV. 8-10 Jahre, V. 11-14 Jahre, einer ähnlichen Einteilung ihres Untersuchungsgutes bedienten sich Switzer und Besoain (116).

Richman und Master (103) ordneten ihr Untersuchungsmaterial in zwei Gruppen, Neugeborene bis zu 7 Tagen und Kinder im Alter von 1 Woche bis zu 10 Jahren. Alimurung und Mitarb. (4) teilten bei ihren Erhebungen über die Q-T-Zeit bei 571 Kindern ihr Material in drei Reifegruppen auf: I. Neugeborene, II. ältere Säuglinge, III. 1-13jährige. Henckel (49) beschrieb Tages-Kurven von Kindern im Säuglings-, Spiel- und Schulalter.

Simonson (112) stellte strenge Forderungen für die Bestimmung normaler Standardwerte des EKG auf, die sich u. a. auf die umfassende Definition des Untersuchungsgutes beziehen und sich an die Empfehlungen der American Heart Association (23) über die Standardisierung des EKG anlehnen.

Alimurung und Massell (4) bedienen sich bei Untersuchungen über Durchschnittswerte des P-Q-Intervalls folgender Alters-Aufteilung: I = unter 1 Monat; IIa = vom 1.-9. Monat; IIb = 10 Monate bis 2 Jahre; III = von 3-5 Jahren; IV = von 6-13 Jahren.

Bengtson (12) gliederte sein Untersuchungsgut, das im Alter zwischen 5 und 14 Jahren war, in Gruppen von je einem Jahr Altersunterschied auf.

Penalosa u. Mitarb. (94) veröffentlichten Untersuchungen, bei denen 540 Kinder in 5 Abteilungen eingestuft wurden: I Neugeborene, II 1. Woche - 3 Monate; III 4-11 Monate, IV 1-5 Jahre, V 5-14 Jahre.

Doll und Mitarb. (27) haben auf Grund von Erhebungen über das Brustwand-EKG beim Kind eine Altersgruppen-Einteilung festgelegt, die die physiologischen Gegebenheiten im Laufe der Entwicklung genau berücksichtigt. Diese Gruppeneinteilung hat sich bewährt, sie wurde von vielen Autoren übernommen:

I a: Frühgeborene; I b: 1. und 2. Lebensmonat; I c: 3. bis 5. Lebensmonat; I d: 6.-12. Lebensmonat; II: 2.-3. Lebensjahr; III: 4.-6. Lebensjahr; IV: 7.-10. Lebensjahr und V: 11.-15. Lebensjahr.

2. Altersgruppen- und Geschlechtsunterschiede im EKG des Kindesalters

Die Übergangsphase vom EKG-Typ des Jugendlichen zum Erwachsenen-EKG vollzieht sich nach Richman und Master (103) ab dem 10. Lebensjahr. Andere Autoren geben dafür das 13.-15. Lebensjahr an.

Sollen Standardwerte ermittelt werden, so ist neben der sorgsamsten Auswahl der Altersgruppe auch eine genaue Angabe über die Geschlechtsverteilung des Untersuchungsgutes unerlässlich.

Bis zum 7. Lebensjahr werden von allen Autoren keine Geschlechtsunterschiede im elektrokardiographischen Verhalten angegeben. Ab dem 7.-10. Lebensjahr finden sich z. T. eindeutige Unterschiede im Ausmaß der Nachschwankung und in verschiedenen Zeitwerten (Blackburn und Mitarb. (14), Nicolson (89), Maroney und Rantz (74) u. a.).

Die Ursachen für das Zustandekommen dieser Differenzen im EKG liegen vor

allein in der unterschiedlichen Herzform und -lage sowie Herzgröße und deren Relation zum Körpergewicht. Unterschiedliche Thoraxform und Fettverteilung haben ebenfalls großen Einfluß auf diese Geschlechtsunterschiede. In mehreren Arbeiten (Urshel und Abbey (133), Simonson und Mitarb. (113) u.a.), die sich vor allem mit vektorkardiographischen Normalwerten beschäftigen, wurden die Größen- und Gewichts-Indices mit dem Alter, dem Geschlecht, dem Körperbau und mit der Thoraxkonfiguration in Beziehung gesetzt.

II. Arbeitsbelastungs-Versuch und EKG im Kindesalter

1. Die Kreislaufregulation im Steh- und Belastungsversuch

Zur Erkennung der hypotonen Form der Kreislaufregulationsstörung läßt sich auch das EKG heranziehen. Die von Schellong und Heinemeier (118) neben der hypotonen Form unterschiedene hypodynamische Dysregulation ruft keine EKG-Veränderungen hervor.

Kirchhoff und Eichler (61) haben bei 80 Kindern beim Stehversuch eine "normale kindliche Kreislaufregulation" gegenüber krankhaften Abweichungen der Kreislaufregulierung abzugrenzen versucht. Darnach war es beim Übergang vom Liegen zum Stehen im Normalfall zu einem 10-20%igen Anstieg der Puls-Ausgangswerte gekommen, während der systolische Blutdruck um 10-15 mm Hg etwas abfiel, während der diastolische Druck leicht zunahm.

Kirchhoff (60) analysierte auch das Verhalten der normalen Kreislaufregulation in den von Schmidt-Voigt (128) angegebenen Entwicklungsstufen, dabei stellte sich heraus, daß Kinder wie Pubertierende in 55-77% eine normale Kreislaufregulation aufwiesen, während in der Praepubertät in 80% pathologische Reaktionen auftraten.

Bei Untersuchungen an 50 Kindern im Alter zwischen 10 und 14 Jahren unter Berücksichtigung sowohl des Stehversuches als auch der Belastungsprobe (2. Teil des Schellong-Tests) fand Nitsch (90) 43 Kinder normal im Sinne des für Erwachsene aufgestellten Normalverhaltens. Bei den übrigen Kindern traten Regulationsstörungen hypotoner und hypodynamer Form zutage.

Die von Rieger (104) an 28 Jugendlichen durchgeführten Kreislauf-Tests

nach Rothschuh (109) ließen bei den 13- bis 16jährigen nur 32%, bei den 9- bis 12jährigen nur 18% im Sinne der Forderung Rothschuhs (prozentuale Steigerung der Blutdruckamplitude nach 10 Kniebeugen soll größer sein als die der Pulsfrequenz) reagieren. In der Zwischenzeit liegen die aus reicher praktischer Erfahrung und Erkenntnis sowie umfassendem Literaturstudium gewonnenen Ergebnisse von Rutenfranz (110c) vor, die das Problem der geeigneten Leistungsprüfung im Kindesalter eindeutig beantworten.

Die Veränderungen der Pulsfrequenz zeigen die klarsten altersspezifischen Besonderheiten, während die übrigen Meßgrößen wie Sauerstoffverbrauch und Herzzeitvolumen bei gleichen Leistungen keine Abhängigkeit vom Lebensalter aufweisen und ebenso unabhängig von der körperlichen Entwicklung oder der körperlichen Leistungsfähigkeit sind. Nur das Herzschlagvolumen und die a.-v.-Sauerstoffdifferenz zeigen altersabhängige direkte oder indirekte Beziehungen, sie können aber nur blutig gemessen werden, kommen also für eine breitere Anwendung in der praktischen Leistungsmessung im Kindesalter nicht in Frage.

Rutenfranz konnte weiterhin nachweisen, daß die zentrale Meßgröße in der Leistungsbeurteilung von Kindern und Jugendlichen in der Steilheit des Pulsfrequenzanstieges unter Berücksichtigung des Sauerstoffmehrverbrauches liegt. Dieses Verhältnis dieser beiden Größen wird am geeignetsten als Regressionskoeffizient zwischen Leistung und Arbeitspulsfrequenz bei kontinuierlich steigender Leistung am Fahrradergometer bestimmt.

Wichtig erscheint auch - gerade im Rahmen dieser Untersuchung - die Feststellung Rutenfranz's, daß die bisher gebräuchliche und zur Leistungsbestimmung herangezogene Bestimmung der Pulsfrequenz und des Blutdrucks nach Arbeitsende keine quantitative Abhängigkeit von der körperlichen Leistungsfähigkeit aufweist und somit mitverantwortlich für unbefriedigende Leistungsbestimmungen im Kindesalter sein konnte.

2. Belastungs-Modus

Ergometrische Untersuchungen im Kindesalter liegen in großer Zahl vor, dabei hat man je nach Fragestellung und apparativer Ausrüstung Hand- oder Tretkurbelarbeiten im Liegen, Sitzen oder Stehen durchgeführt und wichtige Vergleichswerte der einzelnen Belastungsarten gewonnen. In der "elektrokardiographischen" Ergometrie bestimmen technische Gegebenheiten eine gewisse Einschränkung in der Wahl des Belastungs-Modus.

Die von verschiedenen Autoren benützten Hand-Kurbel-Ergometer brachten bei eng umschriebenen Altersgruppen brauchbare Werte, ein breiter gestreutes Untersuchungsgut konnte jedoch nicht immer bei konstantem Wirkungsgrad der Arbeit belastet werden. Die Kurbellänge und Kurbelhöhe mußten immer wieder angeglichen werden.

Tretkurbelergometer, bei denen in liegender Körperhaltung gearbeitet werden muß, eignen sich besonders für Leistungsmessungen, bei denen Blutproben laufend abgenommen werden müssen. Auch elektrokardiographische Untersuchungen konnten wegen der fixierten Ruhelage des Oberkörpers günstig durchgeführt werden, die durch Veränderung der Körperhaltung hervorgerufenen Alterationen des EKG-Kurvenverlaufes können damit vermieden werden.

Bellet und Mitarb. (11), Lubich (71), Klepzig und Mitarb. (63) ließen bei Tretkurbelarbeiten im Liegen modifizierte Extremitäten-Ableitungen registrieren. Ebenfalls bei Tretkurbelarbeit im Liegen führten Roskamm, Reindell und Mitarb. (108) sowie Kaltenbach und Klepzig (56) EKG-Aufzeichnungen durch.

Mellerowicz und Minx (83) schrieben das Leistungs-EKG von 100 Männern im Alter von 20-30 Jahren bei Handkurbel-Arbeit im Stehen. Rosenkranz und Drews (107) registrierten bei 171 Männern verschiedener Altersstufen während Tretkurbelarbeit im Sitzen (Fahrradergometer) das Extremitäten- und Brustwand-EKG. Sie betonten dabei, daß Fahrradergometerarbeit im Sitzen den physiologischen Gegebenheiten einer normalen Arbeitsleistung am nächsten komme.

Bengtsons (12, 13) Untersuchungen an Erwachsenen und Kindern wurden ebenfalls auf dem Fahrradergometer durchgeführt.

Nach den Vorschlägen von Rosenkranz und Drews (107) nahmen Clasing und Durusoy (24) in jüngster Zeit Untersuchungen an Rekruten der Bundeswehr vor mit einem Extremitäten- und Brustwand-Ableitungsprogramm. Sie schlossen sich dabei ebenfalls der Meinung an, daß Tretkurbelarbeiten im Sitzen physiologischer seien und auch technische Vorteile gegenüber anderen Methoden besäßen.

3. Die Belastungsgröße

Im Gegensatz zu klinischen Testuntersuchungen wird bei der Festlegung der Belastungsgröße für elektrokardiographische Arbeitsversuche bei Gesunden mittelschwere Arbeit bis schwere Belastung gefordert (Holzmann (51)). Ergometrische Leistungsmessung soll jedoch bei Kindern und Jugendlichen im submaximalen Leistungsbereich durchgeführt werden, wobei relativ gleiche Leistungen, bezogen auf das Körpergewicht, die besten Vergleichsmöglichkeiten bieten. Unsere Abbildung, die einer Graphik nach Mellerowicz angeglichen ist, zeigt die Leistungs- und Erholungs-HF von 30 Knaben im Alter von 10-15 Jahren. Die Leistungspulsfrequenz zeigt durchschnittlich bei Jugendlichen schon bei relativ kleinen Leistungen von ca. 1 Watt/kg K-G. einen stetigen und steileren Anstieg als bei 20-30jährigen Männern. Leistungspulsfrequenzen, die innerhalb des $\pm 1\sigma$ -Bereiches liegen, zeigen eine mittlere kardiale und körperliche Leistungsbreite. Werte, die zwischen $+\sigma$ und $+2\sigma$ liegen, sprechen für einen leistungsschwachen Kreislauf verschiedener Aetiologie.

Für die Wahl der Belastungsgröße für elektrokardiographische Untersuchungen können noch keine bindenden Angaben gemacht werden, auf alle Fälle müssen Frequenzen erreicht werden, die eine klare Deutung derjenigen Meßgrößen des EKG erlauben, die von der Pulszahl abhängig sind.

Die Herzschlagfrequenz während der Arbeitsleistung und in der Erholungsphase ist kurvenmäßig für verschiedene Altersgruppen und Leistungsbereiche bekannt (Mellerowicz und Lerche, Mellerowicz und Dransfeld (82, 81)).

Besonders geeignet für die Beurteilung der Leistungspulsfrequenz und der kardialen Leistungsbreite erscheinen nach Mellerowicz (79) die relativen Standardleistungen von 1 Watt und 2 Watt/kg Körpergewicht.

Sie können, in verschiedenen Altersstufen und an gesunden männlichen und weiblichen Personen erhoben, als Grundlage für die verschiedensten ergometrischen Untersuchungen, u. a. auch für elektrokardiographische Belastungsversuche gelten.

III. Versuchsbedingungen

1. Allgemeine Voraussetzungen für ergometrische Untersuchungen

Um die bei jeder Standard-Untersuchung erstrebenswerte Einheitlichkeit zu erreichen, werden sowohl für die Registrierung des Ruhe-EKG als auch für die Abnahme des Belastungs-EKG Bedingungen anzunehmen sein, wie sie Mellerowicz (79), Mellerowicz, Reindell, Hollmann, Mies und Roskam m (84) für jede ergometrische Untersuchung gefordert haben:

- a) "Die Ernährung vor dem Untersuchungstag ist möglichst wenig zu ändern. Am Untersuchungstag ist bis zu 3 Stunden vor der Untersuchung eine kleine Kohlehydrat-Mahlzeit erlaubt.
- b) Am Vortage sind größere körperliche und andere Beanspruchungen, am Untersuchungstag auch kleinere körperliche und andere Beanspruchungen vor der Untersuchung zu meiden, weil sie den Leistungsumsatz bei ergometrischen Untersuchungen verändern können.
- c) Vor der Untersuchung ist dem Probanden der Gang der Untersuchung zu erklären.
- d) Vor der Untersuchung soll der Proband mindestens 10 Minuten sitzend, besser liegend ruhen.
- e) Die Raumtemperatur soll möglichst 18 bis 22 Grad C betragen und + 16 und + 24 Grad C nicht überschreiten, bei einer Luftfeuchtigkeit von 30-60%. An heißen Tagen mit hoher Luftfeuchtigkeit sind ergometrische Untersuchungen möglichst zu unterlassen bzw. unter Berücksichtigung dieser Bedingungen zu beurteilen.
- f) Die Hautoberfläche des Probanden hat bei der Untersuchung möglichst frei zu sein, um ungehindert Abstrahlung und Ableitung von Wärme sowie Transpiration zu ermöglichen. Am zweckmäßigsten wird eine kurze Hose getragen.
- g) Alle Genußmittel, Medikamente sind am Untersuchungstag zu meiden, Medikamente mit länger anhaltender Wirkung sind auch am Vortag zu meiden.
- h) Die Tageszeit der ergometrischen Untersuchung ist anzugeben. Bei wiederholten, vergleichenden Untersuchungen ist möglichst die gleiche Tageszeit zu wählen."

In Bezug auf die Technik des Belastungsversuches muß auf die Untersuchungen von Mellerowicz, Reindell, Mies, Hollmann und Roskam m (84) hingewiesen werden, die besagt, daß in Abhängigkeit zahlrei-

cher Faktoren, bei gleicher physikalischer Leistung am Ergometer, die biologische Leistung unterschiedlich sein kann.

Im Sinne der Standardisierung und zur Erzielung möglichst kleiner Unterschiede des Wirkungsgrades ergometrischer Leistungen wurden für Drehzahl, Kurbellänge, Schwungmasse, Sitzhöhe usw. Optimalgrößen bestimmt, nach denen jeder Arbeitsversuch ausgerichtet sein soll.

2. Voruntersuchung des Untersuchungsmaterials

Voraussetzung für Erhebungen im Normalbereich des EKG ist ein "gesundes" Herz- und Kreislaufsystem der einzelnen Personen einer ausgewählten Gruppe bzw. die exakte Definition der Kriterien, die zur Einbeziehung einer bestimmten Person in eine ausgewählte Gruppe geführt hat, von der behauptet wird, daß sie zum Normbereich gehört.

Bei elektrokardiographischen Untersuchungen der Literatur, die sich mit "Normalwerten" beschäftigen, wurden einerseits Personen miteinbezogen, die nur einer einfachen klinischen Untersuchung unterworfen wurden und in der Anamnese sogar häufige Erkrankungen des Rachenrings oder Scarlatina aufwiesen, Erkrankungen, die banal und weit verbreitet in den Rahmen normaler Variabilität gehören (Bengtson (12)), andererseits findet man Voruntersuchungs-Schemata mit großem diagnostischem Aufwand und strenger Aussonderung eines jeden für Krankhaftigkeit eben nur suspekten Falles.

Die für Untersuchungen des EKG im Normalbereich geforderten Voraussetzungen verschiedener Autoren decken sich im allgemeinen:

1. Anamnese:

Keine rheumatischen Erkrankungen in Gegenwart und Vergangenheit, keine akuten oder chronischen Erkrankungen, die das kardio-vaskuläre System hätten ergreifen können (Scarlatina, Thyphus, Diphtherie, Polio usw.). Keine Rezidiverkrankungen irgendwelcher Art.

2. Herzgröße:

Normales Ergebnis der physischen Untersuchung, Auskultation und Perkussion. Stel- und Belastungsversuch. Roentgenologische Untersuchung. Herz-Thorax-Index.

3. Herzgeräusche:

Aussonderung aller diastolischen Geräusche. Akzidentelle Geräusche

sind im Liegen, Stehen und nach Belastung zu kontrollieren und an verschiedenen Tagen nachzuprüfen.

4. Körpergewicht und -größe:

Im Normbereich der Altersgruppe liegend. Definition des Untersuchungsgutes mit populations-genetischen Angaben.

5. Psyche:

Durch verschiedene Maßnahmen (außer durch Medikamente) muß Angst oder gesteigerte Erregbarkeit des Probanden ausschaltbar sein (Modellversuch, Erklärung des Untersuchungsganges usw.).

C. Schlußfolgerung für eigene Untersuchungen

Mit der Vertiefung der Kenntnisse in der medizinischen Ergometrie haben sich die praktischen Anwendungsmöglichkeiten dieses Bereiches in den verschiedensten Disziplinen erweitern lassen. Als Maßstab für die Beurteilung dienen standardisierte Verfahren, die in umfassender Anwendung bei repräsentativen Querschnitten der Bevölkerung Durchschnittswerte erbracht haben.

Standard-Methoden der Ergometrie basieren auf definierten Belastungen. Auch das Belastungs-Elektrokardiogramm ist einer exakten ergometrischen Definition unterworfen. Es soll bei standardisierter Arbeitsbelastung in einheitlicher Abstufung nach Alter, Gewicht, Größe und Geschlecht durchgeführt werden.

Ergometer-Arbeit erlaubt die genaue physikalische Dosierung. Die im Liegen durchgeführte Tretkurbelarbeit erbringt ein Belastungs-EKG, das von komplizierenden Einflüssen eines Lagewechsels frei ist.

Der Belastungs-Versuch in aufrechter Körperhaltung ist aber physiologischer.

Das EKG einer jeden Alters- oder Reifestufe kann seine spezifischen Eigenheiten haben. Untersuchungen, die Normalwerte des EKG erbringen sollen, haben diese Altersgruppen zu berücksichtigen. Dies gilt vor allem für Untersuchungen des kindlichen EKG. Spätere Untersuchungen sollen sich auf eine der vielen vorgeschlagenen Altersgruppen-Einteilungen einigen.

Für Erhebungen von Normalwerten des Ruhe-EKG genügen die bekannten Altersgruppeneinteilungen vollständig. Für das Steh- und Belastungs-EKG im späten Kindes- und beginnenden Pubertätsalter wird bei der in dieser Reifungsstufe stark ausgeprägten Kreislaufabilität die Altersangabe in Jahren durch physiologische Daten ersetzt werden müssen, wie es von mehreren Autoren gefordert wird (Schmidt-Voigt (128) u.a.).

In vorliegender Arbeit wurde nun der Versuch unternommen, die Stadien eines natürlichen Arbeitsvorganges elektrokardiographisch zu verfolgen. Der Ablauf - Liegen-Stehen-Arbeiten-Stehen-Liegen - wurde unter ergometrischen Voraussetzungen, wie genaue Zeiteinteilung, definierte Bela-

stung, begrenztes Untersuchungsgut usw. nachgeahmt. Dabei sollte das Belastungs-EKG in aufrechter Körperhaltung, die den Gegebenheiten eines normalen Arbeitsvorganges am nächsten kommt, für eine bestimmte Altersgruppe erhoben werden.

Für die genaue Beurteilung eines Arbeits-EKG ist die Kenntnis des Ruhe-EKG unerlässlich, es wurde mitregistriert. Der Lagewechsel vom Liegen zum Stehen und zurück zum Liegen bringt aber beträchtliche EKG-Veränderungen mit sich, so daß sich die Forderung ergibt, das Steh-EKG miteinzuschalten.

Untersuchungen mit veränderten Zeit- und Arbeitsbedingungen dieses Versuchs-Schemas müssen erst erweisen, inwieweit die Aussagekraft der einzelnen Elemente dieses Versuches (Stehversuch, Arbeitsbelastungsversuch, Steh-EKG, Belastungs-EKG, Steh-EKG nach Belastung, Erholungsphasen-EKG) erhalten bleibt und in irgendeiner Modifizierung für die praktische Anwendung nutzbar gemacht werden kann.

II. T E I L

Eigene Untersuchungen

A. Methodik

I. Untersuchungsgut

Da sich vorliegende Arbeit vorwiegend mit der Festlegung einer standardisierbaren Methode beschäftigt, die als Modell für weitere Untersuchungen an anderen oder zahlenmäßig größeren Altersgruppen und unter verschiedenen Belastungsgrößen gelten soll, wurde eine Beschränkung und Auswahl in der Altersgruppe, in der Geschlechtsverteilung sowie in der Gewichts- und Größenrelation vorgenommen. Es sollte keine elektrokardiographische Analyse der Vorgänge unternommen werden, sondern die für eine bestimmte Altersgruppe gültigen Mittelwerte erhoben werden.

Unser Untersuchungsgut umfaßte insgesamt 30 Jungen im Alter zwischen 10 und 15 Jahren. Es war vorgesehen, die Altersgruppe V des Gruppen-Schemas nach Doll und Mitarb. (27) zu berücksichtigen, da diese Altersgruppe elektrokardiographische und kreislaufregulatorische Probleme bietet, außerdem in ihren EKG-Ruhewerten gut bekannt ist. Jüngere Altersgruppen haben nach wie vor die Problematik der Belastbarkeit, noch dazu wäre die unbedingt notwendige aufgeschlossene Mitarbeit bei der strengen Konzeption des Versuches nicht gegeben gewesen.

Die geschlechtsbedingten Verschiedenheiten vor allem in der Kreislaufregulierung und ergometrische Prinzipien lassen es empfehlenswert erscheinen, die Untersuchungen getrennt nach Geschlechtem vorzunehmen, daher beschränkten wir uns in der Auswahl des Untersuchungsgutes nur auf Jungen.

Die Jungen wurden nach ihrem Geburtsdatum ausgewählt, sie stammten aus einem katholischen Priesterseminar einer niederbayerischen Kleinstadt und besuchten das dortige hum. Gymnasium.

Die Altersverteilung war:

10.-11. Lebensjahr	5
11.-12. Lebensjahr	4
12.-13. Lebensjahr	10
13.-14. Lebensjahr	6
14.-15. Lebensjahr	5

Wir bestimmten bei jedem Kind die Körpergröße und das -gewicht und verglichen es mit den Somatogramm-Tabellen, die von Vogt (136) für das 10. bis 19. Lebensjahr nach den Maßdaten von 55 615 Knaben und 39 389 Mädchen aus Bayern erstellt wurden.

Dabei konnten wir in allen Altersstufen eine zwar im einfachen σ -Bereich liegende Zunahme der Körpergröße feststellen. Das Körpergewicht der Probanden lag ebenfalls im einfachen σ -Bereich, die Gruppe der 12- und 13-Jährigen zeigte aber darin eine deutliche Tendenz zur Überschreitung der Norm.

Wenn im Gegensatz zu manchen neueren Untersuchungen bei unserem Untersuchungsgut keine Abweichungen in den doppelten σ -Bereich, vor allem in der Körpergröße zu finden war, wenigstens nicht in zahlenmäßiger Bedeutung, so vermuten wir standesbedingte, vielleicht auch populationsabhängige Gründe.

Die meisten Jungen stammten nämlich aus ländlichen Gegenden Niederbayerns und der Oberpfalz, zum größten Teil aus Kreisen der Landbevölkerung und aus Handwerkerfamilien. Daß die somatische Acceleration dieser Jugendlichen noch nicht die Ausmaße der Großstadt-Bevölkerung erreicht hat, kann nur vermutet werden.

Sämtliche Jungen beteiligten sich an der täglichen Sport- und Spielstunde, in der meist intensiv und begeistert Ballspiele durchgeführt werden. In Vergleichswettkämpfen mit den ortsansässigen "Stadtschülern" waren sie in diesen Disziplinen stets konditionsmäßig und technisch eindeutig überlegen.

Alle Probanden wurden vor den Belastungsversuchen sorgfältig untersucht, dabei wurde zunächst eine genaue Anamnese erhoben, die frei sein mußte von rheumatischen Krankheiten, akuten oder chronischen Erkrankungen, die das Herz-Kreislaufsystem hätten ergreifen können, und von Rezidivkrankungen.

Herz- und Kreislaufuntersuchung: Perkutorisch normale Herzgröße. Röntgenologisch normaler Herz-Thorax-Index. Auskultation im Liegen und im Stehen. Lageabhängige, systolische Geräusche traten in 4 Fällen auf, sie wurden während eines Zeitablaufes von 4 Wochen dreimal kontrolliert, sowohl im Stehen als auch während der Belastung. Sie änderten sich nicht.

Bei allen Knaben wurden mindestens 2 Probeversuche mit Steh- und Belastungsversuch (ohne EKG-Schreibung) durchgeführt. Ein 12- und zwei 15-Jährige mußten danach ausgeschlossen werden, sie wurden durch Gleichaltrige ersetzt. In 8 Fällen konnten wir wechselnde Ergebnisse des ausgedehnten (über 3 Minuten) Steh-Versuches erheben, während der Belastungsversuch bei allen Probanden stets gleich blieb. Im kurzen 1-Minuten-Stehversuch, wie er in unserem Untersuchungs-Schema eingeplant war, traten bei keinem der Jungen auffallende Zeichen einer hypotonen Form der Dysregulation zutage.

Durch die mehrmaligen Probe-Untersuchungen gelang es, die Scheu der Kinder auszuschalten, sie kannten den Gang der Untersuchung genau, die für die exakte Durchführung des Versuches notwendige Ruhe und Aufmerksamkeit war damit erreicht. Die Entspannungshaltung beherrschte jeder der Probanden.

Die allgemeine klinische Untersuchung wurde im üblichen Rahmen durchgeführt und richtete sich nach Verdachtszeichen in der Voruntersuchung, dabei wurden ein Fall von Anaemie und ein Fall von chronischer Pyelonephritis ausgedacht.

Bei Erhebung von Mittelwerten des EKG, einer mehr vom Praktischen her ausgewählten Gruppe ist die Einbeziehung aller im Rahmen der tatsächlichen Variabilität auftretenden Größen wie Thoraxkonfiguration, Fettverteilung, Herzlage usw. - die klare Definition der Gruppe vorausgesetzt - berechtigt, da in unserem Fall keine Analyse elektrokardiographischer Erscheinungen angestrebt wurde.

II. Meßanordnung

1. Ergometer und Schrittmacher

Die Untersuchung wurde mit dem Fahrradergometer nach E. A. Müller (86) vorgenommen. Seine Arbeitsweise: Auf die Felge des Hinterrades ist eine Kupferscheibe montiert, die ins Kraftfeld zweier Magneten beliebig tief versenkt werden kann. Mit Erhöhung der Belastung, die auf jeden Wert zwischen 0 und 25 mkp/sec gebracht werden kann, wird die Kupferscheibe mittels einer Drehkurbel immer weiter in das Kraftfeld der Magneten geschoben. Der Wert der gewählten Belastung kann auf einer Skala abgelesen werden.

Das sehr komplexe Problem der Auswahl des Drehzahloptimums für Kurbel-

arbeiten bestimmter Größenordnung, in einer bestimmten Körperlage ist systematisch noch zu wenig erschöpft, um genaue Angaben machen zu können. Mit dem Müllerschen Ergometer sind 60 Pedalumdhungen/min für Erreichung der durch die Skaleneinteilung gewählten Belastungsgröße notwendig.

Mit einer Kurbellänge von 33,3 cm (Fußkurbellänge zweimal die Hälfte) können die meisten Untersuchungen im Bereich von 20-3000 Watt von kleinen, mittleren und großen Menschen mit verhältnismäßig kleinen Unterschieden des Wirkungsgrades geleistet werden (Mellerowicz, Mies und Roskamm (83)).

Die Sitzhöhe wurde für jede Person so eingestellt, daß, wie empfohlen, bei ausgestrecktem Bein der auf dem Pedal aufliegende Fuß zur Tibiakante einen Winkel von etwa $90-120^{\circ}$ bildete. Auch verschiedene Sattelgrößen waren zur Anpassung eines guten Sitzes nötig.

Wie Untersuchungen von Hollmann, Valentin und Venrath (50) bewiesen, konnte bei übungsbedingter Verbesserung der Bewegungsökonomie keine Änderung der biologischen Leistung registriert werden.

Es wäre aber denkbar, daß Kinder mit noch nicht genügend ausgebildeter Bewegungskoordination für Drehkurbelarbeit durch Training Verbesserungen der biologischen Leistung erzielen könnten. Die in unserem Fall untersuchten Kinder und Jugendlichen waren alle mit dem Bewegungsablauf, wie er für die Betätigung einer Fußkurbel erforderlich ist, vertraut.

Die nötige Umdrehungszahl von 60 PU/min wurde durch einen Schrittnacher kontrolliert, der auf einer Skala eine durch Synchronmotor angetriebene Figur, die sich im Uhrzeigersinn dreht, aufweist. Durch Pedalumdhungen des Ergometer kann durch Übertragung mittels einer Tachometerwelle diese Figur im Gegenuhrzeigersinn bewegt werden. Bei einer Umdrehungszahl von 60 PU/min heben sich beide Wirkungen auf und die Figur kommt im Zenit der Skala zur Ruhe. Tritt dies ein, so wird die gewählte Arbeitsgröße auch wirklich geleistet.

2. Elektrokardiographische Technik

Die Extremitätenkontakte müssen gut aufliegen und gut befeuchtet sein, es empfiehlt sich, die Probanden nach Anlegen der Elektroden etwas herumgehen zu lassen, dadurch läßt sich eine Verschiebung der Kontakte während der

Fußkurbelarbeit eher verhindern. Die Haut soll sorgsam gereinigt sein, außerdem ist zu vermeiden, daß sich Elektrodenflüssigkeit auf die Umgebung verteilt. Die Kontakt-Elektroden haben natürlich mit gleichem Druck auf der Haut zu liegen. Die Kontaktstecker sind ohne Spannung der Kabel anzubringen.

Bei den Brustwand-Elektroden, die an den üblichen standardisierten Ableitungsstellen angebracht sind, ist besonders auf guten Sitz zu achten. Die Haftelektroden für Kinder sollen möglichst an der dem Intercostalraum zugekehrten Seite der Rippen fixiert werden. Die Haut muß mit Alkohol gereinigt werden. Elektrodenpaste soll verwendet werden, dabei hüte man sich vor allzu reichlicher Anwendung. Die einzelnen Kontakt-Gehäuse sollen durch extra angefertigte Kappen aus Schaumgummi (Abarquez und Mitarb. (1)), in die sie gebettet sind (Schaumgummimaterial, das sich zu stark aufladen kann, ist unbrauchbar), gegen Fremdpotentiale der Haut geschützt sein. Wir benutzten Kinder-Kontakt-Elektroden in Kunststoffgehäuse.

Zur besseren Haftung der Kontakte verwendeten wir außerdem einen eigens angefertigten Gürtel, der aus 10 mm breiten Streifen von Korsettagenleinwand bestand, die im Karo, bei einer Maschenweite von 20 mm, übereinandergenaht wurde. Der Gürtel hatte ungefähr die Höhe des halben knöchernen Thorax, war mit verstellbaren Trägern versehen und konnte über dem Rücken beliebig geschnürt werden, wobei ein zwischen dem Gewebe und den Schnürleisten eingenähter Dehnungsausgleich aus Gummigewebe die Atemexkursion nicht allzu sehr hemmen konnte.

Eine weitere Hilfe zur Vermeidung von Kontaktverschiebungen war die elastische Aufhängung der zuführenden Kabel, die ja während der Belastung leicht in Pendelbewegung kommen können.

Bei entsprechender Übung der Probanden, die sofort nach Beendigung der Belastung eine Entspannungshaltung einzunehmen hatten, gelang es meist schon innerhalb der ersten 5-10 sec nach Beendigung der Belastung, einwandfrei verwendbare Kurven zu erhalten.

Während der Belastung allerdings mußten die Brustwand-Ableitungen registriert werden, dabei mußte die indifferente Elektrode des linken Armes einen anderen, weniger störungsanfälligen Platz erhalten. Es wurden mehrere Möglichkeiten ausgetestet, die in der Literatur der letzten Jahre beschrieben worden sind. Dabei waren brauchbare Kurven zu erhalten mit einer indifferenten

Stimelektrode (Bengtisch (12)), mit einer Elektrode über dem linken Acromion (Abarquez (1) u.a.), bei der allerdings Schwierigkeiten mit einer wirksamen Befestigung - besonders bei schwächtigen Kindern - entstehen, und mit einer indifferenten Elektrode auf dem Rücken, die auch Rosenkranz und Drews (107) verwendeten. Bei der Hälfte der Probanden ließen sich im Probe-Versuch auch leidlich gute Kurven erhalten durch entspanntes Hängenlassen des linken Schultergürtels und des linken Armes, bei unveränderter Elektrode. Die Kinder hatten sich dabei durch Streckung des rechten Armes (die rechte Hand blieb an der Lenkstange) etwas aufzurichten, so daß der linke Arm in lockerer Entspannung in die Falllinie der Körperlängsachse gelangte, eine Haltung, die wir auch nach Beendigung der Belastung, bei Parallelstellung der Füße und Fallenlassen des rechten Armes zur Registrierung des Extremitäten-EKG benützten. Die von Klepzig, Reindell und Mitarb. (63) angegebene Methode der Registrierung des Extremitäten-EKG während der Belastung im Liegen gelang bei Fahrradergometerbelastung im Sitzen nicht in befriedigender Weise.

In jedem Falle war bei unseren Untersuchungen neben der exakten Einstellung der Sitzhöhe des Probanden auch die Regulierung der Lenkstangenhöhe wichtig.

Vorliegende Untersuchungen wurden mit einer indifferenten Elektrode auf dem Rücken und zwar in der Medioscapularlinie außerhalb des Bewegungskreises des Angulus durchgeführt.

Das Liegebett für die Registrierung des Ruhe-EKG stand unmittelbar neben dem Fahrradergometer und war mit ihm geerdet.

Die Elektrokardiogramme wurden mit dem Dreifachschreiber Cardiopan II aufgezeichnet, zur Bremsung unerwünschter Muskelpotentiale war ein hochohmiger Widerstand vorgeschaltet.

In Ruhe und in Stehposition wurden die Programme I II III, aVR aVL aVF und V 2, V 4, V 6, geschrieben, während der Belastung nur die Brustwandableitungen.

Die Papiergeschwindigkeit betrug 100 mm/sec. Es wurden mindestens sechs und bis zu zehn Herzperioden in jeder Ableitung festgehalten. Nach jeder Ableitung bzw. vorher wurde eine Eichzacke eingeblendet, in höheren Frequenzen mußten oft mehrere hintereinander aufgezeichnet werden.

III. Versuchsanordnung

1. Allgemeine Vorbedingungen

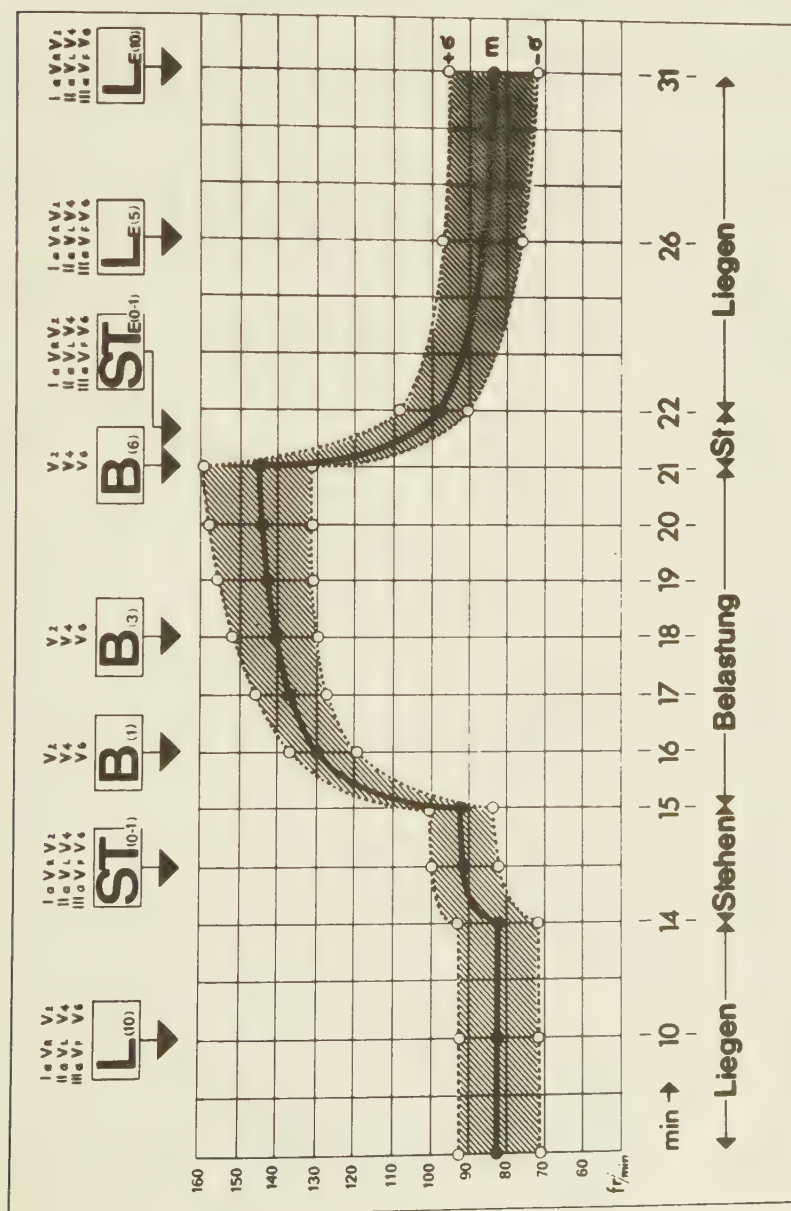
Die von Mellerowicz und Mitarb. (84) geforderten ergometrischen Voraussetzungen wurden bedingungslos eingehalten. Die Ernährung am Vortag wurde wenig geändert. Am Untersuchungstag wurde ab 3 Stunden vor der Untersuchung keine Mahlzeit mehr gestattet, außer dem Genuß von etwas Weißbrot. Körperliche Anstrengungen am Vortag und am Untersuchungstag wurden vermieden. Der Gang der Untersuchung wurde jedem Kind erklärt, mehrere Modell-Versuche wurden mit jedem Probanden angestellt. Der Untersuchungsraum war abgelegen und ruhig. Außenreize konnten gut abgeschirmt werden. Vor der Untersuchung mußten alle Probanden mindestens 15 Minuten auf einem Entspannungsbett ruhen. Die Raumtemperatur im Untersuchungsraum war stets zwischen +18 und +22 Grad, bei einer Luftfeuchtigkeit zwischen 30 und 60%. Sie wurde vor jedem Versuch gemessen und mitregistriert. Wir ließen die Kinder leichte Turnkleidung tragen, die aus kurzen Hosen und Turnhemd bestand. Während des Versuches war der Oberkörper frei. Alle Genußmittel und Medikamente wurden schon am Vortag der Untersuchung weggelassen. Die Tageszeit der Untersuchung war stets berücksichtigt worden. Sämtliche Untersuchungen wurden zwischen 15⁰⁰ und 18⁰⁰ Uhr vorgenommen.

2. Versuchsablauf

Die Herzschlagfrequenz während der Arbeitsleistung und in der Erholung bei einer relativ gleichen Leistung, die dem Gewicht angepaßt ist, ist kurvenmäßig für verschiedene Altersgruppen bekannt.

Die von Mellerowicz und Dransfeld (81) und von Mellerowicz und Lerche (82) gefundenen Pulswerte bei einer Leistung von 1 Watt/kg K.G. bei einer 6-Minuten dauernden Arbeitszeit dienten dieser Studie als Vorlage, wobei im wesentlichen die gleichen Kurvenrelationen gefunden wurden. Die Frequenzwerte am Ende der Belastung waren jedoch etwas niedriger als die von den Verf. angegebenen. Sie betrugen bei den 30 Jungen der Altersgruppe V am Ende der Belastung im Mittel 148/min.

Abbildung Nr. 1: Leistungs- und Erholungs-HF bei 30 Knaben im Alter zwischen 10-15 Jahren bei einer Arbeit 6 Min. 1 Watt/kg K.G. Skizze angelehnt an Mellerowicz. Darüber in Großbuchstaben die Zeitfolge des Ableitungsprogramms.



Zwischen den markierten Ableitungspunkten, für die das EKG zur Frequenzbestimmung herangezogen wurde, bestimmten wir mit Stethoskop oder Radialmessung und 30 sec-Pulsuhr, sie wurden mit den Zeitdaten laufend auf dem Versuchsprotokoll registriert.

Nach dem einminütigen Steh-Versuch war der gefundene Mittelwert der HF 91/min. Der Ruhe-Ausgangswert wurde etwa 5-10 Minuten nach der Belastung wieder erreicht. Eine möglichst kontinuierliche Registrierung des EKG während des gesamten Versuches wurde angestrebt. Es kann aber das hier geschilderte Programm bei guter Koordination mit eingearbeiteter Assistenz mit Sicherheit noch reicher gestaltet werden, was besonders hinsichtlich einer lückenlosen EK-Schreibung von größtem Interesse wäre.

Schema des Versuchsablaufes mit Angabe der laufenden Zeit und der verschiedenen Ableitungen mit ihren gewählten Bezeichnungen.

Zeit	Phase	EKG	Ableitungen	Bezeichnung
10. Min.	I. Liegen	Ruhe-EKG	I, II, III aVR, aVL, aVF V ₂ , V ₄ , V ₆	L(10)
14. Min.	II. Stehen	Steh-EKG	I, II, III aVR, aVL, aVF V ₂ , V ₄ , V ₆	ST(0-1)
16. Min.	III. Belastg. a	Arbeits- EKG	V ₂ , V ₄ , V ₆	B(1)
18. Min.	III. Belastg. b	Arbeits- EKG	V ₂ , V ₄ , V ₆	B(3)
21. Min.	III. Belastg. c	Arbeits- EKG	V ₂ , V ₄ , V ₆	B(6)
22. Min.	IV. Stehen	Steh- EKG	I, II, III aVR, aVL, aVF V ₂ , V ₄ , V ₆	ST _E (0-1)
26. Min.	V. Liegen	Ruhe- EKG	I, II, III aVR, aVL, aVF V ₂ , V ₄ , V ₆	L _E (5)
31. Min.	VI. Liegen	Ruhe- EKG	I, II, III aVR, aVL, aVF V ₂ , V ₄ , V ₆	L _E (10)

Die Bezeichnung der Ableitungsmomente während des gesamten Belastungsversuches wurde durch Großbuchstaben - R oder L, ST, B, ST_E, R_E oder L_E - vorgenommen. Die den Großbuchstaben in Klammern nachgestellten arabischen Ziffern benennen die Minute, in der die Ableitung jeweils vorgenommen wurde, wobei für jede Phase die Zeiteinteilung von vorne beginnt. Beispiel: ST_{E(0-1)} = Registrierung des EKG in Steh-Position in der Erholungsphase und zwar innerhalb der ersten Minute.

Die Belastung wurde also auf dem Fahrradergometer im Sitzen ausgeführt. Wegen der ungünstigen elektrokardiographischen Gegebenheiten (Heraustreten der Ableitungspunkte aus der Frontalebene des Körpers) wurde auf die Registrierung des anfänglichen Ruhe-EKG im Sitzen verzichtet. Dafür registrierten wir nach dem Ruhe-EKG ein ordnungsgemäßes Steh-EKG und zwar genau 1 Minute nach dem Aufstehen und nicht später, um keine sogenannte Spätreaktion (Holzmann) ins Bild zu bekommen, die die vegetative Ausgangslage für die sofort folgende Belastung hätte stören können. In der Belastungs-Phase wurden jeweils in der 1., in der 3. und in der 6. Minute die Ableitungen V₂, V₄ und V₆ geschrieben. In der 1. Minute wurde wieder ein vollständiges Steh-EKG registriert, welches allerdings im Gegensatz zum 1. Steh-EKG mit dem Brustwand-Programm begonnen wurde. Es folgten die Standard-Ableitungen und die unipolaren Extremitäten-Ableitungen. Es war dabei an eine mögliche Darstellung orthostatischer Zeichen nach Belastung (Reindell und Delius (98)) gedacht, die nach Belastung oft besser als nach 4-6minütigem Stehen in Erscheinung treten können. Um nach der eindeutigen ergotropen Arbeits-Phase eine elektrokardiographisch nicht allzu vieldeutige Erholungsphase registrieren zu können, wurden nach dem ST_E-EKG die Kinder möglichst rasch in Ruhelage gebracht. Es folgte in der 5. und in der 10. Minute nach Beendigung der Belastung ein vollständiges Ableitungsprogramm.

Beim Steh-EKG nach Belastung ließen wir die Kinder schnell eine Entspannungshaltung einnehmen: Schulter und Arme locker hängen lassen, die Handgelenke genau in der durch die Hüftgelenke gelegten senkrechten Falllinie, Entspannungshaltung der Wirbelsäule in geringgradiger Kyphose, jedoch kein Zusammensacken, Kopfhaltung bzw. Haltung der HWS korrespondierte mit der Einstellung der übrigen WS, woraus eine geringe Senkung des Kopfes resultierte mit Blickrichtung etwa 45° unter die Horizontale. Die Füße wurden aus den Pedalen genommen und mußten streng parallel stehen. Anlehnung an den vorderen Knauf des Fahrradsattels war notwendig, weil wir dabei, um ein Zittern der Knie zu vermeiden, die Kniegelenke überstrecken ließen. Die Aufnahmen brachten in dieser Haltung sehr gute Ergebnisse. Es wird jedoch zuge-

geben, daß technische Verbesserungen, die zur weiteren Entspannung der Muskulatur beitragen, eventuell noch bessere Resultate des unverzüglich nach Beendigung der Belastung aufgezeichneten Steh-EKG erbringen könnten.

IV. Angewandte statistische Methoden

1. Statistik

Arithmetisches Mittel und ihre Streuung

$$\text{AM} = \sum \frac{x}{n} ; \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{X})^2}{n}}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x^2) - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n - 1}}$$

Darin bedeutet;

$\bar{X}$ = Summe aller Einzelwerte $x_1, x_2 \dots \dots \dots x_n$

$(X - \bar{X})$ = Summe der Differenz aller Einzelwerte vom Mittelwert.

Von jeder Ableitung wurden mindestens 5 Perioden ausgemessen und höchstens zehn. Die Durchschnittswerte wurden durch Summation der mit dem Tastzirkel abgegriffenen Strecken und der anschließenden Reduzierung durch eigens angefertigte Transversalmaßstäbe (1:1/3; 1:2/3; 1:500; 1:1000; 1:2000; 1:2500; 1:5000), wie sie in der Geodäsie verwendet werden, ermittelt. Wir bedienten uns zur Bestimmung des Winkel Alpha der Hilfstabellen der Fa. Reiniger.

III. T E I L

E r g e b n i s s e

Im folgenden werden Zeitwerte und Zahlen hauptsächlich in Tabellenform vorgelegt. Dabei wurden die Mittelwerte und ihre Streuung berücksichtigt. Wo es ratsam erschien, Veränderungen von Meßgrößen im Belastungsverlauf darzustellen, wurden graphische Darstellungen der einfachen Meßwerte gebracht. Wegen der relativ begrenzten Anzahl der Fälle (30) und der beschränkten Anzahl der Ableitungen verzichteten wir in vielen Punkten auf eine rechnerische Analyse und kritische Diskussion der Ergebnisse, die erst nach Untersuchungen an größerem Material und in verschiedenen Altersgruppen, gemäß der hier vorgeschlagenen Methode, berechtigt erscheint.

I. Das Verhalten der Pulsfrequenz bei submaximaler Belastung wurde im vorhergehenden Kapitel aufgezeigt.

II. Sinusrhythmus

Von 19 Jungen, die sich im 10.-13. Lebensjahr befanden, hatten 17 eine deutliche makroskopisch sichtbare respiratorische Arrhythmie im Ruhe-EKG. Bei den restlichen 2 Jungen konnte man eine solche nur durch vergleichende Meßwerte feststellen. Von den 11 Probanden, die 13-15jährig waren, fanden wir 6 gut sichtbare respiratorische Schwankungen im Ruhe-EKG, 5 Kurven zeigten eine weniger deutliche atmungssynchrone Periodenverschiebung. Während der Belastung war sie ab der 1. Minute bei sämtlichen Probanden auch bei der Papiergeschwindigkeit von 100/mm pro Sekunde kaum mehr nachzuweisen. In der Steh-Phase nach der Belastung trat sie erstmals wieder gut erkenntlich zutage und zwar wiederum am deutlichsten bei den Jungen im Alter zwischen 10 und 13 Jahren (11 Fälle). In den Ableitungen der Erholungsphase (5. Minute nach Belastung) konnte sie bei allen 17 Jungen dieser Altersgruppe wieder gesehen werden. 2 Jungen, die im Ruhe-EKG vor Belastung eine nur mit dem Maßstab nachweisbare Arrhythmie gezeigt hatten, ließen jetzt eine schon mit bloßem Auge sichtbare r. A. erkennen. Von den 13-15Jährigen war es ein Junge. Bei diesen 3 Probanden war sie auch noch in der 10. Minute nach Belastung gut sichtbar. Einer der Knaben fiel durch eine lang anhaltende Tachykardie auf, er mußte wegen Zeichen eines Myocardschadens ausgeschlossen werden, er gehörte bei einem Alter von 14 Jahren zu den Fällen mit einer schon im Ruhe-EKG wenig deutlichen respiratorischen Arrhythmie.

Das genaue Verhalten des r. A. kann natürlich nur mit einer kontinuierlichen Aufzeichnung des EKG ermittelt werden, außerdem sind Angaben über den Verschiebungs-Koeffizienten nötig, die die subjektive Beurteilung ersetzen.

III. Die Veränderung der elektrischen Herzachse während des kombinierten Steh- und Belastungsversuches

Die Verteilung der Lagetypen in unserem Untersuchungsmaterial entsprach dem in der Literatur angegebenen Verhältnis für die Altersgruppe zwischen dem 10.-15. Lebensjahr.

Winkel α QRS	Lagetyp	Anzahl
zwischen +30° und +60°	Mittellagetyp	17
zwischen +60° und +90°	Steillagetyp	11
zwischen +0° und +30°	Linkslagetyp	2

Die beiden linkstypischen EKG waren nur wenige Grad unter dem +30° Winkel der QRS-Achse, Rechtstyp wurde keiner gefunden, die steilste Lage betrug 82 und 83 Grad.

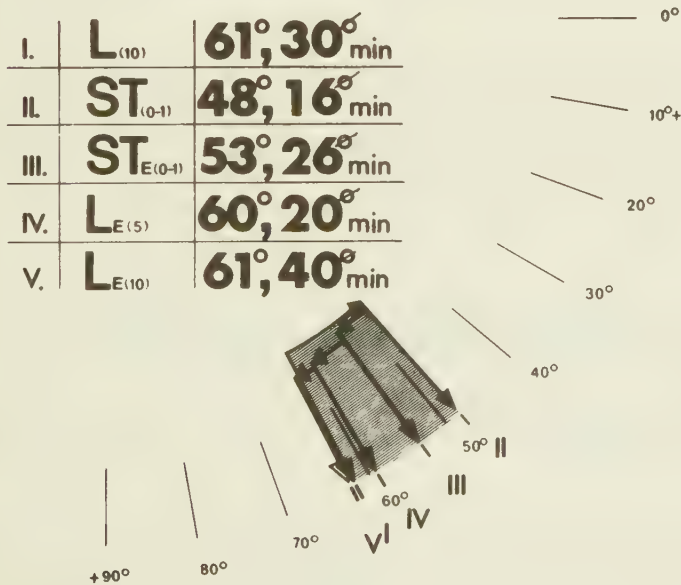
Bei der Großzahl der Fälle konnte man kurz nach dem Aufstehen eine deutliche Verschiebung des Typs nach der Linksposition hin beobachten. Neben dem Kleinerwerden der R-Zacken in II und III sowie der T III-Zacke und dem Tiefertreten der Q-Zacke in III war die Abweichung des Winkels Alpha im Mittel -12° 14 min.

Bei der Analyse dieser Abweichung wurde sichtbar, daß sich vor allem der Steil- und der Mittellagetyp im Bereich von ± 0 bis etwa +70° an dieser Verschiebung beteiligten. Steiltypen, die in Rückenlage über 70° lagen, veränderten sich kaum nach links, sie zeigten sogar zum großen Teil einen Schwenk nach der Rechtsposition. Der Mittellagetyp im Grenzbereich des Linkspositionstyps

wies dabei die deutlichste Veränderung im Sinne einer Drehung nach links auf, ebenso der reine Linkstyp, der allerdings nur im nahen $+30^{\circ}$ -Bereich gefunden wurde.

Während der Belastung wiederum kam es zu einem teilweisen Verharren auf der nach dem Aufstehen eingenommenen Position, was in Anbetracht der kurzen Steh-Phase von 1 Minute wohl schon als Abkehr von der Links- bzw. als beginnende Rechts-Tendenz aufgefaßt werden kann.

Abbildung Nr. 2: Veränderung der elektrischen Herzachse ($\angle \alpha$) im Mittelwert (30 Fälle) im Verlauf des Steh- und Belastungs-EKG bei 10-14jährigen Knaben.



Etwas mehr als die Hälfte der Probanden zeigte aber eine wirkliche Drehung nach rechts, wie sie auch im Mittelwert (Differenz $+8^{\circ}10'$) sichtbar wird.

Ein kleiner Teil (6 Fälle) war bis zum Ende der Belastung bei der eingeschlagenen Linksdrehung verblieben. Vier dieser Versuchspersonen gehörten dem Steil- oder Mitteltyp im Bereich zwischen $+43^{\circ}$ und $+71^{\circ}$ an, zwei waren Linkspositionstypen. Allerdings zeigte diese beibehaltene Linksdrehung im Vergleich mit der Drehung, die aus dem Lagewechsel resultierte, ein nur geringes Ausmaß.

Eindeutig im Mittelwert war bei fast allen Kindern die Abweichung des Hauptvektors in Richtung des Rechtspositions-Typs im Moment der Wiedereinnahme der Ruhelage kurz nach der Belastung. Sie betrug im Mittelwert etwa 7 Grad. Nur bei einigen Stellagetypen war sie gegensinnig. In der Erholungsphase zwischen der 5. und 10. Minute war ein uneinheitliches Verhalten der Hauptachse festzustellen. 11 der untersuchten EKG behielten in einem geringen Grade eine Rechtsachsendifferenz bei, während 13 der Fälle wieder eine Tendenz nach links erkennen ließen; der Rest veränderte sich nicht. Im Mittelwert äußerte sich diese Situation in der fast vollkommenen Rückkehr zur Ausgangslage der Herzachse in Ruhe.

Die Veränderung der Körperlage verursachte somit verständlicherweise die eindeutigsten Ausschläge der Hauptachse, während weniger wirksam im Sinne einer Achsenverschiebung nach einer bestimmten Richtung der Belastungszustand war, obwohl auch hier das Verhalten des Winkels Alpha bei über der Hälfte der Up. ziemlich einheitlich war.

IV. Die Veränderung der einzelnen Meßgrößen des EKG während des Steh- und Belastungs-Versuches

1. Die Vorhofs-Zacke (P-Zacke)

a) Die Höhe der P-Zacke

Wegen der unterschiedlichen und oftmals nicht meßbaren Höhe der Vorhofs-zacke wurden keine metrischen Werte darüber erhoben. Nach dem Aufstehen jedoch kam es bei den meisten Kindern zu einer Erhöhung der P-Zacke, sie traten deutlicher hervor und wurden auch spitzer. Primär isoelektrische Zacken wurden nach dem Aufstehen deutlich positiv (5 Fälle). Zwei negative P III

wurden stärker negativ, während ein biphasal angelegtes P II in die isoelektrische Linie einschwenkte. Diese Erscheinungen bezogen sich auf die am häufigsten auftretenden Mittellagetypen. Bei den Steil-Typen wurde ein primär negatives P III positiv. Am deutlichsten äußerte sich die Zunahme der Amplitude in den Ableitungen II und III.

Während der Belastung steigerten sich die Tendenzen des Höher- und Spitzerwerdens der Vorhofsacken.

Die Rückkehr zur Höhe des Ruhe-Ausgangswertes war bei den P-Zacken meist in der 5. Minute nach Belastung abgeschlossen.

b) Die P-Dauer

Nach dem Aufstehen war sie im Mittelwert der Extremitäten-Ableitungen geringgradig verkürzt (maximal 0,002 sec), während in den Brustwand-Positionen der Mittelwert, wahrscheinlich als Meßvariante, unbedeutend anstieg. Der Ruhemittelwert von P I, II, III lag bei 0,081 sec, während bei den unipolaren Extremitäten-Ableitungen mit 0,0801 und bei den Brustwandableitungen mit 0,074 sec gemessen wurde.

Im Verlaufe der Belastung konnte in allen Ableitungen gemäß der Frequenzzunahme eine Verkürzung der Vorhofs-Zacke ermittelt werden. Bis zum Ende der Belastung war P in den praecordialen Ableitungen auf 0,072 sec im Mittel gesunken. Unverzüglich nach der Belastung stieg der Wert wieder auf 0,0734 sec. In den Extremitäten-Ableitungen war der ST_E -Wert natürlich am niedrigsten, da während der Belastung keine Extremitäten-Ableitungen aufgezeichnet wurden. Sie betrugen für die Standard-Positionen 0,076 sec, für die unipolaren 0,074 sec. Am Ende des Versuches wurde im ganzen gesehen die Ruhewerts-Zeit wieder erreicht. Der Mittelwert der Brustwand-Ableitungen hatte 5 Minuten nach Beendigung der Belastung schon wieder den Ausgangswert. Nach Beendigung der Arbeitsphase fällt mit dem plötzlichen Absinken der Herzfrequenz auch ein steilerer Anstieg der Mittelwertskurve (P-Dauer) zusammen.

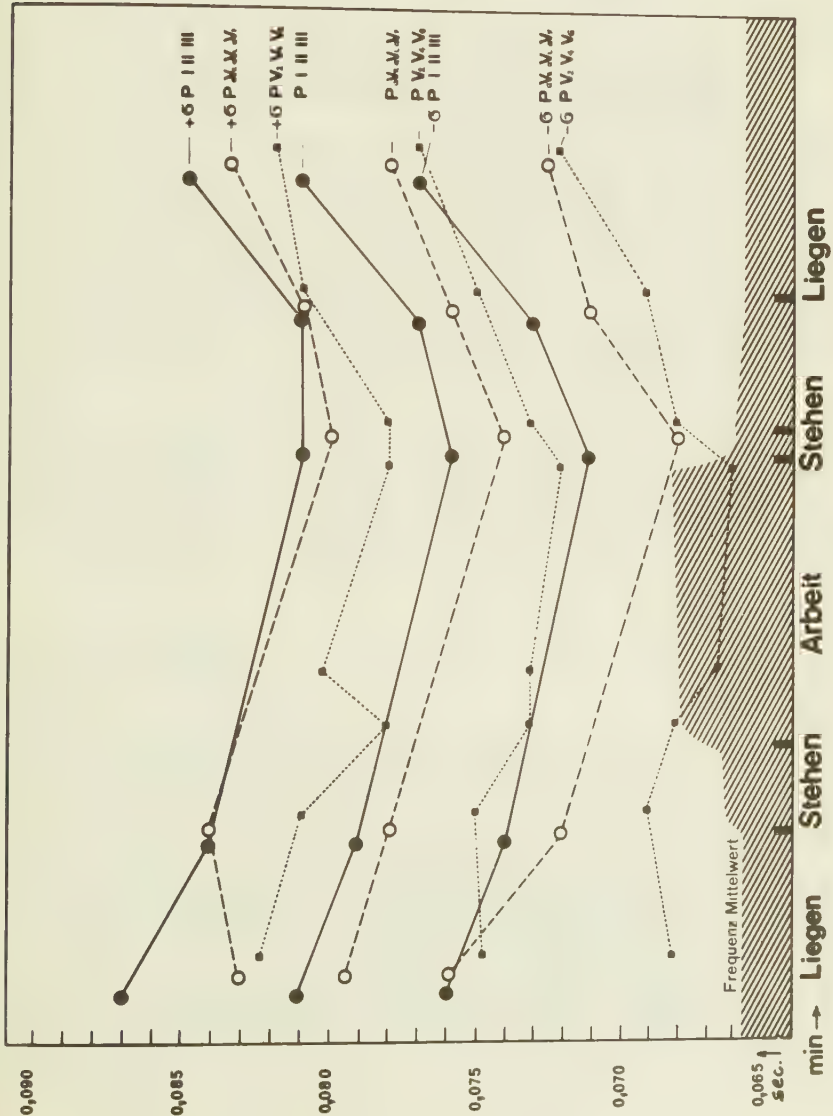
Tabelle Nr. 1: Mittelwerte (Extremitäten- und Brustwandableitungen) der P-Dauer während des kombinierten Steh- und Belastungs-EKG von 30 Knaben.

Belastungs- Phasen	I	II	III	aV_R	aV_L	aV_F	V_2	V_4	V_6
	max. mittel min.	$\pm 6^\circ$		max. mittel min.	$\pm 6^\circ$		max. mittel min.	$\pm 6^\circ$	
L	0,0971 0,0815 0,0712	0,0061		0,0974 0,0801 0,0643	0,007		0,0919 0,0747 0,0641	0,007	
ST ₍₀₋₁₎	0,0984 0,0793 0,0663	0,0057		0,0923 0,0781 0,0644	0,006		0,0880 0,0754 0,0614	0,006	
B ₍₁₎							0,0846 0,0733 0,0624	0,005	
B ₍₃₎							0,0866 0,0735 0,0532	0,007	
B ₍₆₎							0,0842 0,0723 0,0564	0,006	
ST _{E(0-1)}	0,0887 0,0762 0,0663	0,005		0,0888 0,0740 0,0663	0,006		0,0866 0,0734 0,0631	0,006	
L _{E(6)}	0,0868 0,0774 0,0683	0,004		0,0903 0,0760 0,0654	0,005		0,0882 0,0757 0,0632	0,006	
L _{E(10)}	0,0903 0,0810 0,0735	0,005		0,0901 0,0782 0,0608	0,005		0,0898 0,0771 0,0625	0,005	

Abbildung Nr. 3:

- = I II III
- = aV_R aV_L aV_F
-■ = V_2 V_4 V_6

Kurve der gemessenen Mittel- und einfachen Streuwerte der P-Dauer während des Belastungsversuches bei 30 Knaben im Alter zwischen 10 und 14 Jahren. Herzfrequenz schematisch.



2. Die Überleitungs-, P-Q-Zeit

Nach dem Aufstehen kam es zu vereinzelt Niveauperänderungen der P-Q-Strecke, ohne eine für die Mehrheit gültig erscheinende Tendenz. Bei 9 Kindern fand sich während der Belastung und teilweise (4 Fälle) auch noch bis zur 5. Minute der Erholungsphase eine geringe Senkung der P-Q-Strecke oder ein

Tabelle Nr. 2: Mittel- und einfache Streuwerte der bi- und unipolaren Extremitäten- und Brustwand-Ableitungen.
P-Q-Zeit, 30 Knaben (10-14 J.) während des komb.
Steh- und Belastungs-EKG

Ab- leitung	I	II	III	aV_R	aV_L	aV_F	V_1	V_4	V_6
Belastg. Phasen	m	$\pm \sigma$		m	$\pm \sigma$		m	$\pm \sigma$	
L	0.157	0.019		0.160	0.020		0.155	0.018	
ST ₍₁₎	0.143	0.019		0.147	0.017		0.148	0.023	
B ₍₁₎							0.141	0.019	
B ₍₃₎							0.140	0.019	
B ₍₆₎							0.137	0.016	
ST _F (0-1)	0.138	0.016		0.141	0.017		0.132	0.014	
L ₍₅₎ ^E	0.142	0.014		0.148	0.015		0.148	0.016	
L ₍₁₀₎ ^E	0.150	0.017		0.151	0.020		0.149	0.014	

nach oben konkaves Durchhängen in Abhängigkeit von der mehr oder weniger deutlichen Senkung der Vorhofendschwankung. Diese Veränderung wurde nicht mehr nach der 5. Minute der Erholungsphase entdeckt. In der Ableitung V_2 war sie am stärksten ausgebildet, dort wurde als höchster Abweichungswert 0,12 mV gemessen. Durch die Niveauveränderungen der S-T-Strecke war die vergleichende Messung dieser Hebungen und Senkungen oftmals sehr erschwert.

Eindeutig war jedoch die Abhängigkeit der P-Q-Zeit von der Herzfrequenz. Schon nach dem Aufstehen nahmen die Ruhewerte ab, um auf dem Höhepunkt der Belastung auf dem geringsten Wert anzulangen. Nach der Belastung erreichten nach unseren Messungen die Mittelwerte nicht einmal nach 10 Minuten ihre Ausgangshöhe, sie waren im Durchschnitt dann 0,007 bis 0,009 sec darunter. Es ist zu vermuten, daß dabei Meßabweichungen vorlagen und zwar im Bereich der Ruhe-Ausgangswerte, die im Vergleich mit anderen Autoren um wenige Prozent über der Norm lagen. Auffallend war auch die im Vergleich zur Erhöhung der Schlagfrequenz etwas zu hohe Senkung der P-Q-Zeit vom Liegen zum Stehen, was unsere Vermutung der zu hoch ausgemessenen Ruhewerte unterstützt (siehe auch Kurve).

Im oberen Frequenzbereich, der trotz der relativ niedrigen Belastungsgröße von manchen Probanden erreicht wurde (160-170/min), mußten wegen der nicht seltenen Nachschwankungen die Zeitmessung der Überleitungszeit genau wie die der P-Dauer manchmal unterbleiben (U-Welle).

3. Der QRS-Komplex

a) QRS-Dauer

Nur bei einer Papiergeschwindigkeit von 100 mm/sec lassen sich eindeutige Veränderungen des QRS-Komplexes während der Belastung feststellen.

In unseren Erhebungen schien eine direkte Abhängigkeit der QRS-Dauer von der Frequenz vorzuliegen, wenn auch bei den Messungen etwas zu hohe Ruhewerte im Bereich der Standard-Ableitungen gefunden wurden, die sich aus Abmessungen aus drei sonst normalen Kurven erklären, welche Ruhewerte der QRS-Dauer von 0,010 sec hatten und deshalb die Verkürzung der QRS-Dauer während der Belastung, besonders am Anfang, etwas zu hoch erscheinen ließen.

Abbildung Nr. 4: Kurve der ausgemessenen Mittel- und einfachen Streu-
werte der P-Q-Zeit von uni- und bipolaren Extremitäten-
und von Brustwand-Ableitungen. 30 Knaben (10-14 Jahre)
während des komb. Steh- und Belastungs-EKG. Pulsfrequenz
schematisch. ●—● = Standard-Abl.; ○—○ = unipolare
Extremitäten-Abl.; ■····■ = Brustwand-Abl.

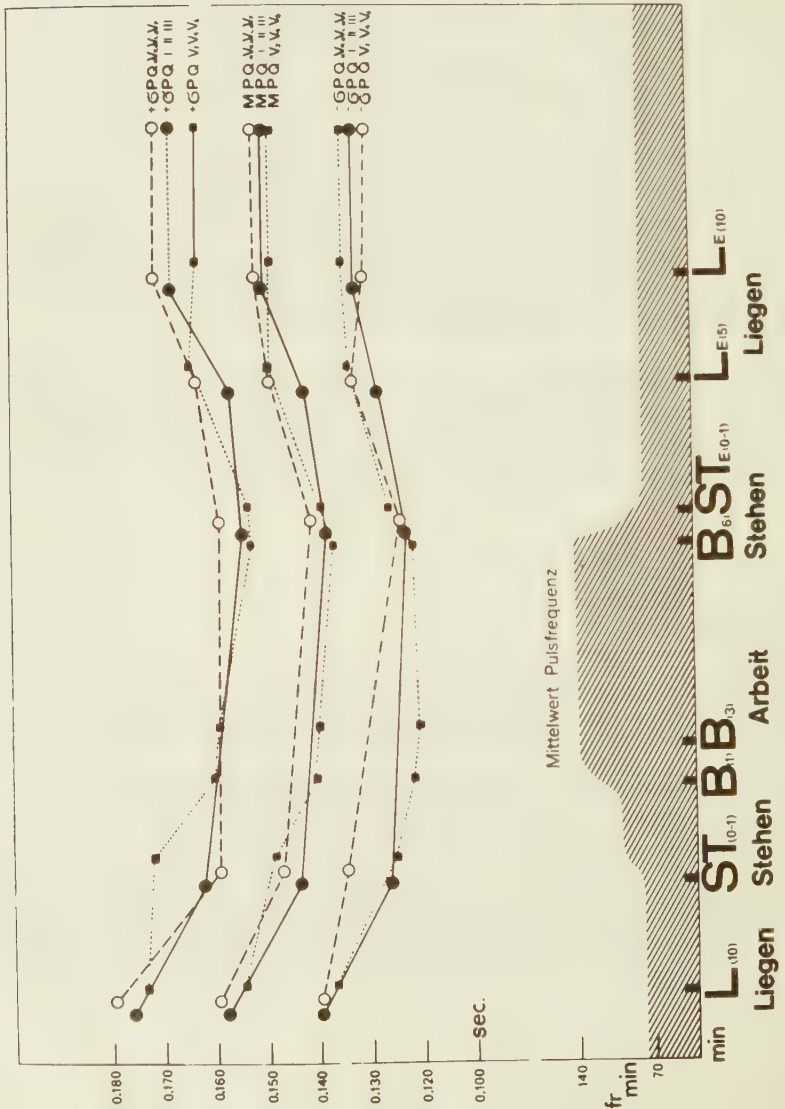


Tabelle Nr. 3: Mittel-, Maximums-, Minimums- und einfache Streuwerte der QRS-Dauer aus den Standard-, unipolaren Extremitäten- und Brustwand-Ableitungen von 30 Knaben während des kombinierten Steh- und Belastungs-EKG.

Abl.	I	II	III	aV _a	aV _L	aV _F	V ₂	V ₄	V ₆
Belastungs- Phasen	^{max.} mittel min.	^{max.} mittel min.	^{max.} mittel min.	^{max.} mittel min.	^{max.} mittel min.	^{max.} mittel min.	^{max.} mittel min.	^{max.} mittel min.	^{max.} mittel min.
L	0,1014 0,0806 0,0647	0,010	0,0788 0,0632	0,0954 0,007	0,0911 0,0798 0,0683	0,006			
ST ₍₁₎	0,0997 0,0753 0,0701	0,008	0,0956 0,0774 0,0648	0,007	0,081 0,0782 0,0655	0,005			
B ₍₁₎					0,0983 0,0779 0,0682	0,007			
B ₍₃₎					0,0982 0,0776 0,0665	0,006			
B ₍₆₎					0,0900 0,0771 0,0652	0,006			
ST _E (0-1)	0,0881 0,0742 0,0632	0,007	0,0943 0,0776 0,0640	0,006	0,0951 0,0776 0,0644	0,006			
L _{E(5)}	0,0956 0,0773 0,0638	0,006	0,0937 0,0781 0,0665	0,006	0,0943 0,0795 0,0702	0,005			
L _{E(10)}	0,0933 0,0782 0,0678	0,007	0,0944 0,0780 0,0664	0,006	0,0962 0,0803 0,0681	0,006			

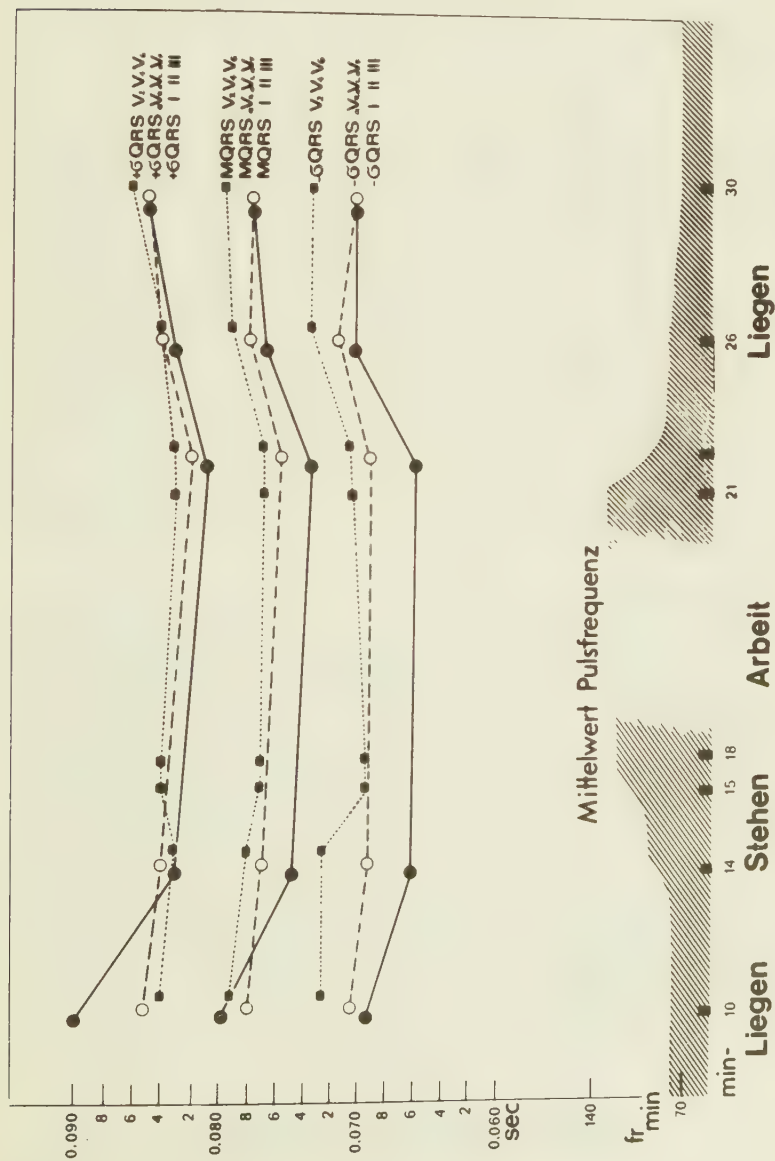
Trotz dieser kleinen Verschiebung lassen sich aus den gefundenen Meßwerten, die in den einzelnen Ableitungen relativ nahe beieinander liegen, dennoch Angaben über die Relation Pulsfrequenz und QRS-Dauer machen. Danach trat vom Ruhepunkt aus gerechnet bis zum Ende der Belastung bei niedriger Arbeitsbelastung von 1 Watt/kg K.G. eine Verkürzung der QRS-Dauer von 0.002 bis 0.003 sec auf, was einer Reduzierung auf etwa 96-97% des Ruhewertes gleichkommt (Brustwandableitung). Diese Verkürzung ließ sich in den Standard-Ableitungen mit ca. 7% errechnen, was aber z. T. auf oben genannte Aberration zurückzuführen ist, wenn auch andere Autoren das deutlichere Hervortreten der QRS-Verkürzung in den Standard-Ableitungen bestätigen. In der 5. Minute der Erholungsphase war bei fast allen Kindern der Ausgangswert wieder erreicht.

Untersuchungen an umfangreicherem Material, feinere Methoden der Ableitungstechnik, Papiergeschwindigkeiten von etwa 120 mm/sec, trägheitslose Lichtstrahlschreibung und exakte Abmessungsmethoden könnten hier genaueren Aufschluß geben und Fehler beseitigen, die z.B. durch bloßen Gestaltwechsel der Anfangsschwankung verursacht werden. Wenn man von der Uneinheitlichkeit der Meßergebnisse der QRS-Dauer in den drei ersten Phasen unseres Versuches absieht, so kann der klare Kurvenverlauf der Mittelwerte in den Ausgangsphasen des Versuches doch einen Hinweis auf die Abhängigkeit der QRS-Dauer von der Herzschlagfrequenz vermitteln.

Es darf wohl angenommen werden, daß der eindeutig ergotrope Zustand bei Ende der Belastung mit hohen Frequenzwerten und die nachfolgende Aufhebung mit plötzlichem Abfall der Pulsfrequenz, als scharf getrennte Phasenänderung, einen deutlich sichtbaren Einfluß auf die QRS-Dauer ausübte und damit einen Anstieg des Mittelwertes und die Einengung der Streuung bewirkte, während in der Phase des allmählichen Frequenzanstieges die Mittelwertskurve der Hauptschwankungs-Zeit natürlich weniger ausgeprägtes Verhalten zeigt. Der Mittelwert der QRS-Dauer in den Standard-Ableitungen betrug in Ruhe 0.0815 sec, für die aV-Ableitungen 0.0801 sec und für die Brustwand-Ableitungen 0.0747 sec. Am Ende der Belastung (1. Minute der Erholungs-Phase) waren die Meßwerte im Mittel entsprechend 0.0760 sec, 0.0740 und 0.0734 sec.

Die Meßwerte der Standard-Ableitungen liegen somit am tiefsten, während die der Brustwand-Ableitungen am höchsten ausfallen und die der unipolaren Extremitäten-Ableitungen in der Mitte liegen.

Abbildung Nr. 5: Kurve der ausgemessenen Mittel- und einfachen Streuwerte der QRS-Dauer während des Belastungsversuches (Belastung: 1 Watt/kg K.G.) bei 30 Knaben im Alter zwischen 10 und 15 Jahren. ●—● = Abl. I, II, III; o----o = Abl. aVR, aVL, aVF; ■····■ = V₂, V₄, V₆; Herzfrequenz schematisch.



Da die QRS-Zeit in den Brustwand-Ableitungen fortlaufend, d. h. an allen markierten Punkten unseres Versuches (acht Zeitmarkierungen) registriert werden konnte, dürfte von einer lückenlosen Registrierung während eines Belastungsversuches unter vielleicht höherer Arbeitsbelastung aufschlußreiche und zahlenmäßig faßbare Größen der Relation Herzfrequenz - QRS-Dauer zu erwarten sein.

b) Die Q-Zacke

Das Erscheinen der Q-Zacke in den verschiedenen Ableitungen ist abhängig von der Veränderung der elektrischen Herzachse während des Stehversuches und der Belastung. Am klarsten ließ sich bei unserem Versuch eine kombinierte Drehung um die Herzlängsachse und die Transversalachse bestimmen, die ihren Ausdruck im Verhalten der Q III-Zacke fand (Häufigkeits- und Höhenanstieg), wobei Q III vom Liegen zum Stehen zunächst an Häufigkeit zunahm, bis zum Ende der Belastung eine gleichbleibende Anzahl aufwies, um nach der Belastung erneut zahlenmäßig zuzunehmen. Die Höhe nahm bis zur 5. Minute nach Belastung fast linear zu und fiel erst nach diesem Zeitpunkt wieder zum Ruhewert ab. Q I zeigte zum Ende der Belastung bis kurz nach der Arbeitsphase einen zahlenmäßigen Anstieg und kehrte nach der 5. Erholungs-Minute wieder auf die Ruhe-Anzahl zurück. Dabei veränderte sich jedoch die Höhe nicht einheitlich. Q II war in der Häufigkeit ihres Erscheinens während des gesamten Versuches gleichbleibend.

In den Brustwand-Ableitungen konnte man über V_4 zum Ende der Leistungsphase bis zur 5. Minute nach Belastung Q-Zacken auftreten sehen. Über V_6 blieb die Anzahl der Q-Zacken konstant bei 100%. In den unipolaren Extremitäten-Ableitungen trat ein wechselvolles Bild zutage, das keine einheitliche Tendenz erkennen ließ. Eine gewisse Konstante war in aVL gegeben. In aVR ließ sich eine Häufigkeitszunahme der Q-Zacken während des Versuches annehmen, während in aVF eine Abnahme vorzuliegen schien, welche bis Ende der Arbeitsbelastung anhielt und dann in der Erholungsphase zum Ausgangswert zurückkehrte (siehe Tabelle und Skizze). Für die Höhe der Q I und Q III-Zacken gilt das oben Gesagte: Q II sank vom Liegen zum Stehen in ihrer Amplitude, deren Höhe dann bis zum Ende der Belastung beibehalten wurde. Bis zur 5. Minute der Erholungsphase stieg sie wieder an, um am Ende der Ruhepause wieder zum Ausgangswert zurückzupendeln.

Tabelle Nr. 4: Häufigkeit und Höhe der Q-Zacke (Mittel-, Maximal- und Minimalwerte) während des Belastungsversuches bei 30 Knaben im Alter von 10 bis 15 Jahren (submaximale Belastung).

Belastungsphasen	I		II		III		aVR		aVL		aVF		V2		V4		V6	
	Anzahl	max. mittel. min.	Anzahl	max. mittel. min.	Anzahl	max. mittel. min.	Anzahl	max. mittel. min.	Anzahl	max. mittel. min.	Anzahl	max. mittel. min.	Anzahl	max. mittel. min.	Anzahl	max. mittel. min.	Anzahl	max. mittel. min.
L (10)	15	0.12 0.080 0.01	24	0.22 0.085 0.01	14	0.29 0.093 0.01	14	1.02 0.66 0.57	11	0.38 0.124 0.01	22	0.22 0.074 0.01	-	-	-	-	30	0.30 0.112 0.01
ST (0-1)	14	0.13 0.062 0.01	22	0.15 0.068 0.01	18	0.32 0.120 0.01	22	1.09 0.76 0.52	12	0.49 0.098 0.01	18	0.13 0.08 0.01	-	-	-	-	30	0.30 0.148 0.01
B (1)													-	-	-	-	30	0.56 0.164 0.01
B (3)													-	-	-	-	30	0.34 0.126 0.01
B (6)													-	-	-	-	30	0.32 0.123 0.01
ST (0-1)	18	0.13 0.065 0.01	25	0.16 0.070 0.01	17	0.23 0.147 0.01	18	1.11 0.78 0.53	12	0.12 0.080 0.01	21	0.18 0.075 0.01	-	-	-	-	30	0.30 0.128 0.01
LE (5)	18	0.14 0.071 0.01	22	0.22 0.102 0.01	22	0.31 0.159 0.01	14	1.13 0.807 0.48	13	0.18 0.065 0.01	21	0.18 0.070 0.01	-	-	1	0.01	30	0.29 0.129 0.01
LE (10)	16	0.12 0.065 0.01	21	0.17 0.080 0.01	23	0.23 0.086 0.01	16	1.05 0.69 0.48	14	0.21 0.090 0.01	22	0.15 0.068 0.01	-	-	-	-	30	0.26 0.115 0.01

Die am Ende der Belastung auftretende Q-Zacke in V_4 blieb ausnahmslos im Bereich von 0.01 mV. Die Q-Zacke über V_6 stieg vom Liegen bis zur ersten Arbeitsminute stark an, um auf einen ab der 5. Minute der Erholungsphase gleichbleibenden Wert wieder abzufallen. In der 10. Minute nach der Belastung war der Ruhewert wieder erreicht. Die Höhe der Q-Zacke zeigte in aVR einen Anstieg, der von der Ruhelage bis zur 5. Minute nach der Arbeitsphase reichte, in aVL aber einen entsprechenden Abfall. In aVF sahen wir einen kurzen Anstieg vom Liegen zum Stehen, dann einen gleichmäßigen bis unter den Ausgangswert führenden Abfall bis zur Beendigung der Erholungsphase.

c) Die R- und S-Zacken

Die hier errechneten Mittelwerte von R und S, ihre Häufigkeit und ihr Verhältnis zueinander wurden bestimmt durch die Charakteristik des zahlenmäßig am stärksten in Erscheinung tretenden Mittel- und Steiltagetyps.

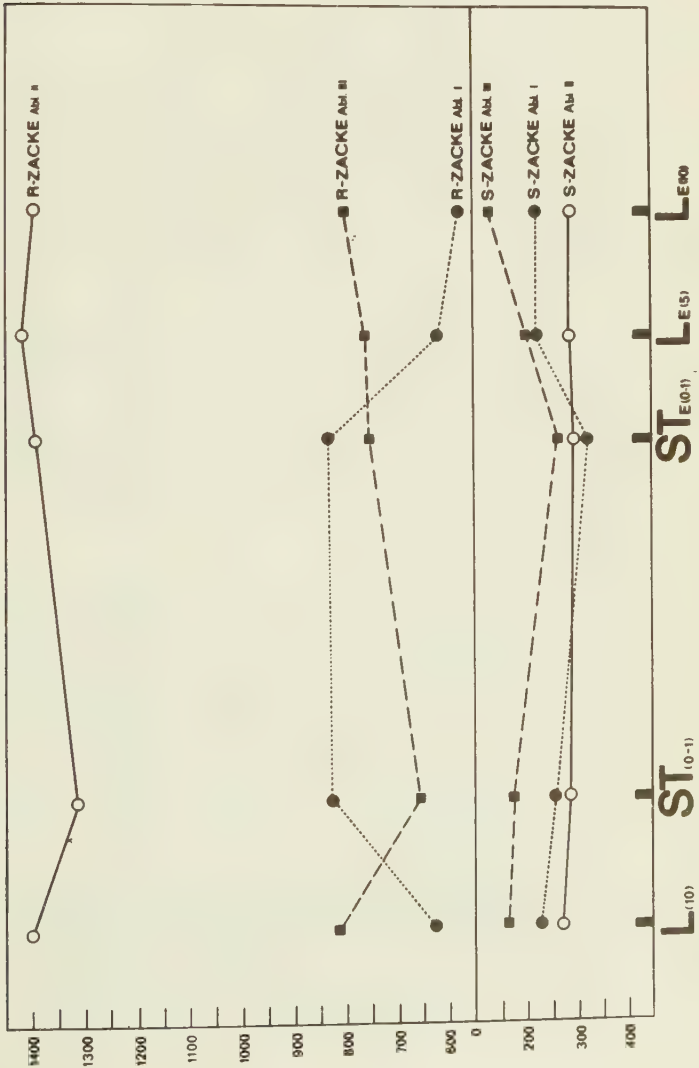
Die einzelnen Größen im Elektrokardiogramm der beiden Lagetypen überschneiden sich natürlich in der Mittelwertberechnung, sie ergeben eine Summe, die im Ablauf des Belastungsversuches immer wieder einen der beiden Positionstypen dominieren läßt.

In den Standard-Ableitungen herrschte in den Ruhephasen der Steiltyp vor mit der größten R-Zacke in II, der kleinsten in I. Nach Einnehmen der aufrechten Körperhaltung änderte sich im Mittelwert an der Höhe von R II wenig, sie blieb deutlich vorherrschend, während R I und R III die Plätze tauschten, R III wurde zur kleinsten Zacke, während R I auf die Höhe, die R III innehatte, kletterte. Es hatte sich im Mittelwert ein Mittellagetypp entwickelt.

Dieser blieb während der Belastung, d.h. während der Einhaltung einer aufrechten Körperhaltung der Probanden, bestehen, um sich, nachdem die Ruhelage wieder eingenommen wurde, wieder in einen Steiltyp umzukehren. Bis zum Endpunkt der Erholungsphase waren die Ruhewerte wieder vollkommen erreicht.

Der Wechsel von R I und R III ging also wie auf einer Diagonalen vor sich. Dabei blieb aber R I während der Arbeitsphase auf gleicher Höhe, während R III bis Arbeitsende gering anstieg. R II machte den anfänglichen Abfall und den nachfolgenden Anstieg von R III auf einem tieferen Niveau, aber fast parallel mit. Nach Beendigung der Belastung war R II am größten.

Abbildung Nr. 6: Die Höhe der R- und S-Zacken (Mittelwert) in den Standard-Ableitungen im Verlauf des Arbeitsbelastungsversuches und zwar im Liegen (nach 10 Min. Ruhe), im Stehen (in Ruhepause), im Stehen (nach Belastung) und im Liegen (Erholungsphase) bei 30 Jungen im Alter zwischen 10-15 Jahren. Belastungsgröße: 6 Min. mit 1 Watt/kg K.G. auf dem Fahrradergometer.



Die Veränderungen beim Übergang vom Liegen in die aufrechte Körperhaltung wurde als Drehung des Herzens um die Längsachse gedeutet und zwar im Gegen-sinn des Uhrzeigers. Nach dem Einsetzen der Belastung kam als weitere Lage-veränderung am deutlichsten eine zusätzliche Drehung um die Transversalachse hinzu, und zwar im Sinne einer Bewegung der Herzspitze nach vorne, was wir am Tieferwerden von S III und S I ablesen konnten.

Beide Drehungen waren natürlich als mittleres Verhalten zu verstehen und ga-ben über den Einzelfall natürlich keinen Aufschluß.

In den unipolaren Extremitäten-Ableitungen kamen diese Bewegungen eben-falls zum Ausdruck. Bei der Drehung um die Längsachse gegen den Uhrzeiger-sinn zeigten sich bei unseren Messungen Tendenzen einer Umwandlung von qr in aVL zu einem Qr. Ob eine Drehung um die Sagittalachse im Gegenuhrzei-gersinn den Bewegungsablauf der elektrischen Herzachsen mitbeeinflusste (in aVL Tendenz in Richtung qrs), konnte bei der Zusammenstellung der Meßwerte nicht klar definiert werden. Eindeutig war der Anstieg der R-Zacke in aVR und aVL, der in aVR bis nach Beendigung der Belastung anhielt. Fast die gleiche Verände-rung ließen die entsprechenden S-Zacken erkennen. In aVF fanden sich, außer einem leichten Anstieg von R nach der Belastung, keine richtungsweisenden Ver-schiebungen. Die S-Zacke aber nahm nach dem Aufstehen in geringem Maße ab und stieg nach Beendigung der Ergometer-Arbeit wieder auf den Ruhewert nach 10minütigem Liegen. Zum Ende der Erholungsphase, also zum Ende des gesamten Versuches, erreichte sie in unseren Messungen sogar eine über dem Ruhewert liegende Höhe.

Das mittlere Verhalten der R- und S-Zacken über den Brustwandableitungen äußerte sich in einer gleichmäßigen Erhöhung bzw. Vergrößerung der einzelnen Zacken im Laufe des Arbeitsbelastungsversuches, die den R/S-Quotienten nur unwesentlich veränderte. Am ehesten war noch über der V_2 -Position eine Ver-kleinerung des Quotienten bis Beendigung der Belastung erkennbar. Ebenso ließ sich über V_4 , deren Quotient etwas über 1 lag, während der Arbeitsbelastung eine geringgradige Reduzierung desselben erkennen. In V_6 fand sich der nied-rigste Wert des R/S-Verhältnisses in der 1. und 3. Minute der Belastung.

Die in den Mittelwertberechnungen auffallenden relativ tiefen S in V_6 be-ziehen sich auf nur 3 Fälle mit sonst unauffälligem Kurvenverlauf. Eine S-Zacke in V_6 wurde nur in wenigen Fällen am Ende des Ergometer-Versuches beobachtet.

Tabelle Nr. 5: Mittel- und einfache Streuwerte der R-Zacken-Höhe während des Belastungs-EKG bei 30 Knaben im Alter von 10-15 Jahren. Submaximale Belastung von 1 Watt/kg K.G. während 6 Minuten

Belastungsphasen	I		II		III	aVR		aVL		aVF	V ₂		V ₄		V ₆	
	m	±σ	m	±σ	m	±σ	±σ	m	±σ	m	±σ	±σ	m	±σ	m	±σ
L ₍₁₀₎	0,633	0,30	1,40	0,38	0,813	0,54	0,212	0,15	0,235	0,14	0,839	0,48	1,058	0,43	1,587	0,66
ST ₍₀₋₁₎	0,839	0,39	1,318	0,39	0,660	0,50	0,318	0,25	0,428	0,32	0,824	0,36	1,035	0,44	1,636	0,60
B ₍₁₎													1,026	0,41	1,613	0,56
B ₍₃₎													1,065	0,40	1,585	0,52
B ₍₆₎													1,094	0,45	1,589	0,62
ST _{E(0-1)}	0,835	0,38	1,389	0,37	0,752	0,65	0,239	0,18	0,366	0,28	0,802	0,40	1,079	0,44	1,614	0,58
L _{E(5)}	0,643	0,35	1,418	0,40	0,758	0,54	0,186	0,20	0,227	0,24	0,858	0,43	0,985	0,42	1,746	0,61
L _{E(10)}	0,593	0,28	1,383	0,40	0,818	0,53	0,204	0,13	0,228	0,15	0,917	0,38	1,084	0,44	1,807	0,61

Tabelle Nr. 6: Mittel- und einfache Streuwerte der S-Zacken-Größe während des Belastungs-EKG bei 30 Knaben im Alter von 10-15 Jahren. Submaximale Belastung von 1 Watt/kg K. G. während 6 Minuten.

Belastungsphasen	I		II		III		aVR		aVL		aVF		V ₂		V ₄		V ₆	
	m	±σ	m	±σ	m	±σ	m	±σ	m	±σ	m	±σ	m	±σ	m	±σ	m	±σ
L ₍₁₀₎	0,225	0,12	0,268	0,14	0,157	0,17	0,839	0,17	0,362	0,29	0,179	0,11	2,003	0,89	1,516	0,73	0,224	0,17
ST ₍₀₋₁₎	0,271	0,15	0,277	0,17	0,16	0,12	0,876	0,33	0,412	0,26	0,163	0,13	2,102	0,74	1,435	0,65	0,200	0,16
B ₍₁₎													2,171	0,94	1,470	0,59	0,244	0,16
B ₍₃₎													2,168	0,94	1,521	0,63	0,259	0,16
B ₍₆₎													2,282	0,96	1,508	0,62	0,213	0,15
ST _{E(0-1)}	0,311	0,19	0,291	0,20	0,255	0,17	0,925	0,40	0,370	0,30	0,178	0,14	2,185	0,91	1,414	0,60	0,223	0,15
LE ₍₅₎	0,214	0,10	0,276	0,16	0,193	0,12	0,793	0,37	0,363	0,28	0,172	0,12	1,891	0,93	1,474	0,61	0,211	0,14
LE ₍₁₀₎	0,215	0,20	0,271	0,16	0,144	0,15	0,767	0,21	0,353	0,30	0,206	0,12	1,962	0,80	1,54	0,67	0,204	0,19

Abbildung Nr. 7: Kurven der Mittelwerte der R- und S-Zacken in den Brustwandableitungen während standardisierter Belastung bei 30 Knaben (V_2 , V_4 , V_6). Auf die unterschiedliche Maßstab-Einteilung der drei Bilder wird aufmerksam gemacht.

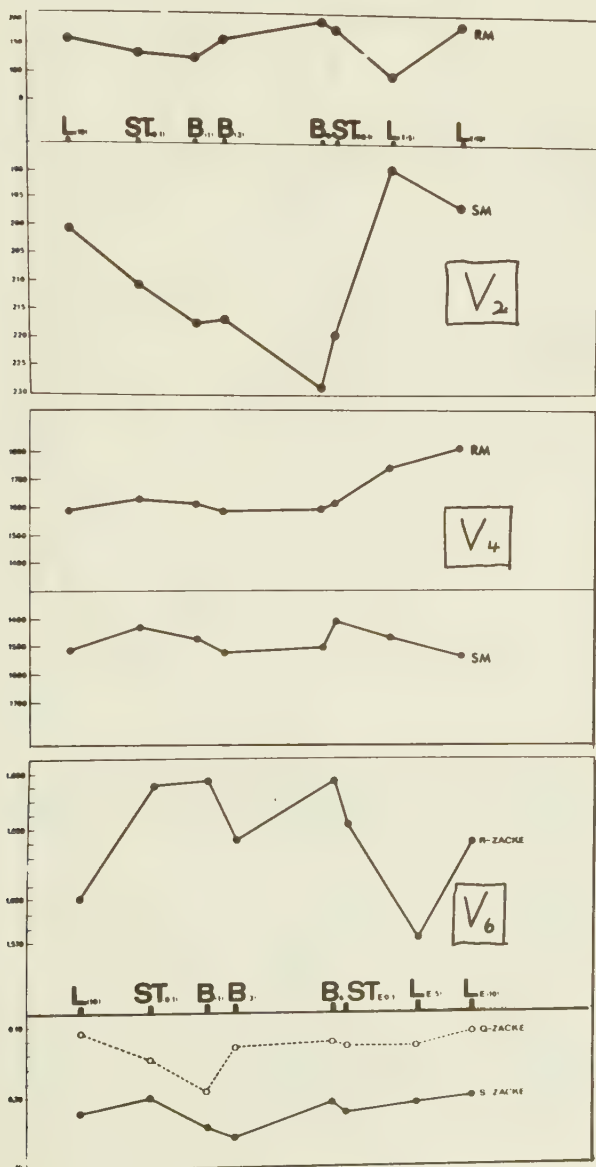


Tabelle Nr. 7: Mittel-Maximums- und Minimum sowie einfache Streuwerte der Q-T-Zeit während des standardisierten Belastungsversuches bei 30 Knaben (10-15 Jahre).

Belastungs Phasen	I	II	III	αV_R	αV_L	αV_T	V_2	V_4	V_6
	max. m min.		$\pm \sigma$	max. m min.		$\pm \sigma$	max. m min.		$\pm \sigma$
L ₍₁₀₎	0.349 0.316 0.289		0.021	0.355 0.312 0.296		0.023	0.363 0.334 0.299		0.017
ST ₍₀₋₁₎	0.347 0.303 0.279		0.017	0.352 0.299 0.267		0.017	0.352 0.303 0.273		0.017
B ₍₁₎							0.298 0.265 0.240		0.019
B ₍₃₎							0.284 0.253 0.238		0.017
B ₍₆₎							0.274 0.251 0.230		0.020
ST _{E(0-1)}	0.340 0.284 0.342		0.017	0.322 0.285 0.247		0.014	0.328 0.291 0.248		0.017
L _{E(5)}	0.364 0.314 0.286		0.016	0.350 0.304 0.275		0.015	0.354 0.312 0.284		0.017
L _{E(10)}	0.370 0.326 0.289		0.020	0.359 0.314 0.286		0.017	0.367 0.323 0.298		0.019

Abbildung Nr. 8: Graphischer Vergleich der Mittelwertkurve (Q-T-Dauer) nach Hegglin und Holzmann mit den in vorliegenden Untersuchung gefundenen Werten während eines Belastungsversuches (1 Watt/kg K.G. Fahrradergometerarbeit während 6 Minuten). 30 Knaben. Es liegt eine Abb. aus Holzmann, Klin. Elektrokardiographie (Verlag Thieme), zugrunde.

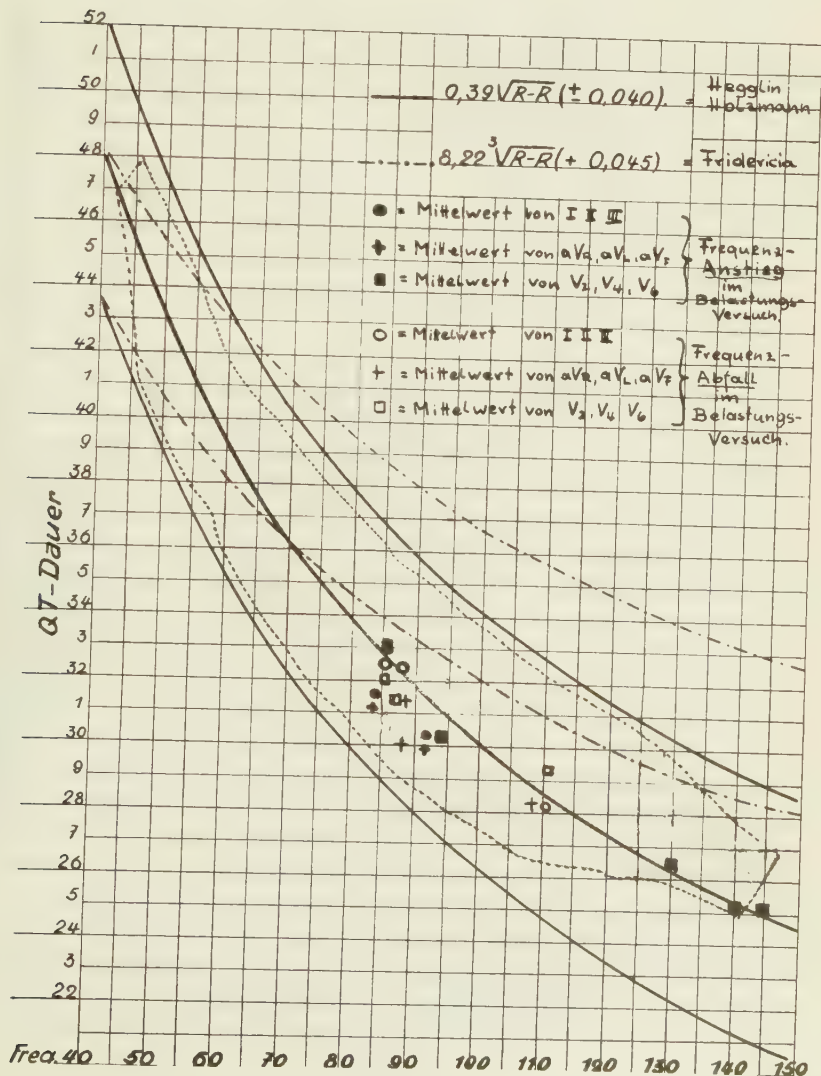
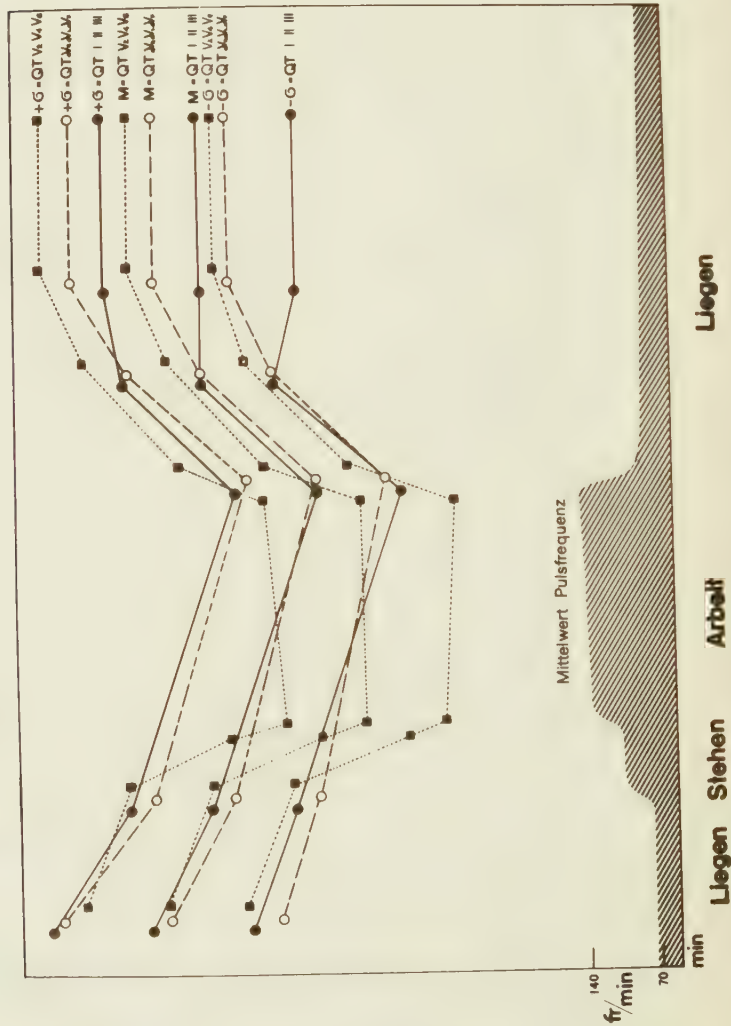


Abbildung Nr. 9: Schematische Darstellung der ausgemessenen Mittel- und einfachen Streuwerte der Q-T-Dauer während des Belastungs-Versuches an 30 Knaben im Alter von 10-15 Jahren. Mittelwert der Pulsfrequenz schematisch.
Bel.: 1 Watt/kg K.G. während 6 Minuten auf dem Fahrradergometer.



4. Die Q-T-Zeit

Durch den gedehnten Kurvenverlauf des Elektrokardiogramms bei einer Registriergeschwindigkeit von 100 mm/sec, aber auch in den bei höheren Herzfrequenzen geschriebenen Kurvenabschnitten traten natürlicherweise oftmals große Schwierigkeiten bei der Bestimmung des Endpunktes der T-Zacke auf. Zur Berechnung des Mittelwertes wurden daher sämtliche gut auswertbaren Kurven herangezogen.

Allerdings wurde bei den wenigen Kurven, in denen ein negatives T erschien, auf eine Ausmessung der Q-T-Dauer bzw. eine Adjustierung verzichtet. Isoelektrische Endphasen einer T-Zacke traten häufiger auf, ebenso Überlagerungen mit U-Zacken, was die exakte Bestimmung der Ventrikelaktivität weiter erschwerte. Die größte Abweichung von dem durch Hegglin und Holzmann berechneten Wert der relativen Q-T-Dauer ergab sich in den unipolaren Extremitäten-Ableitungen, während die Werte in den Brustwand-Ableitungen eine gute Übereinstimmung aufwiesen.

Die nicht aus einem Ableitungs-Schema in seiner Gesamtheit ermittelten Durchschnittswerte der Q-T-Dauer eignen sich für vergleichende Angaben der Ventrikelaktivitätszeit und der Herzfrequenz. Vielmehr sollen die Mittelwerte einzelner Ableitungen herangezogen werden.

Die Mittelwerte der Ableitung II lagen in unserem Fall höher als die von I und III. Kleinere Unterschiede aber bestanden in den unipolaren Extremitäten- und Brustwandableitungen untereinander. Ein Vergleich mit den von Ohr und Porscha angegebenen Streuwerten wurde nicht angestellt.

5. Die S-T-Strecke

In allen Ableitungen wurde die S-T-Strecke an der anliegenden P-Q-Basis gemessen. Darnach trat eine Abweichung von der Ruhebasis in mehr als zwei Ableitungen auf einmal nie zutage. Das Verhalten des S-T-Abschnittes war abgesehen von einem allgemeinen Steilerwerden im Sinne einer Änderung des Winkels von S-T zur T-Zacke ziemlich wechselhaft. Es zeigten sich Hebungen und Senkungen, die, wenn sie während oder kurz nach (Beendigung) der Belastung auftraten, in den meisten Fällen nach der 5. Minute der Erholungsphase wieder verschwunden waren. In einigen wenigen Fällen ließ sich eine S-T-Senkung bis zur 10. Minute nach Belastung verfolgen.

In den Standard-Ableitungen kam es nach dem Aufstehen und während der Arbeitsbelastung zu Schwankungen nach oben und nach unten (letztere häufiger), die fast nur in einer Ableitung zu sehen waren. In II und III am häufigsten, in I nur in Einzelfällen. Die Höhe der Niveauänderung nach oben betrug dabei nie mehr als 0.07 mV, nach unten allerdings lag sie zuweilen über diesem Wert, jedoch in keinem einzigen Fall über 0.1 mV. Die meisten Veränderungen waren bei Ende der Belastung festzustellen und reichten in abnehmender Häufigkeit meist nur bis zur 5. Minute nach Belastung (außer in einem Fall in Abl. II bis zur 10. Minute Senkung mit Maximumswert von 0.07 mV in ST_E).

Ableitung	Senkung bis	Senkung	Hebung
	0.05 mV	0.05-0.1 mV	bis 0.05 mV
I	1	-	2
II	4	2	3
III	3	1	1

In den unipolaren Extremitäten-Ableitungen zeigten sich vor allem in aVF die deutlichsten Abweichungen, meist als Senkungen, die jedoch im Bereich bis 0.05 mV blieben. Hebungen waren nur in 2 Kurven zu verzeichnen, sie waren sehr klein. In den übrigen Ableitungen war das Geschehen unauffällig, nur minimale Niveauschwankungen der Endstrecke traten auf.

Die Brustwand-Ableitungen zeigten im ganzen deutlichere Zeichen von Niveauschwankungen, es kam aber erst im Verlauf der Belastung zu S-T-Depressionen, die in V₂ nicht über 0.05 mV reichten, in V₄ aber Werte von 0.1 mV (2 Fälle) zeigten. In V₆ fanden sich nie Senkungen über 0.1 mV und nur in 3 Kurven bis 0.05 mV. In einem Fall wurde als höchster gemessener Wert 0.13 mV in V₄ registriert. Hebungen der Endstrecke kamen, wie in den Standard-Ableitungen, seltener als Senkungen vor. Sie gingen nie über 0.05 mV hinaus.

Für alle Niveauschwankungen der Endstrecke kann gesagt werden, daß (außer einem einzigen Fall) nie über die 5-Minutengrenze nach Belastung hinaus zu verfolgen waren. Nur 3 der registrierten Maximalwerte von 0.1 mV erreichten die 5-Minutengrenze, die übrigen waren nur bis zur 1-Minutengrenze nach Belastung zu sehen.

6. Die T-Zacke

Die Gestalt der T-Zacke und deren Wandlung wurde in ihrer reichen Variabilität während des gesamten Versuchsablaufes verfolgt und registriert.

Bei der Papiergeschwindigkeit von 100 mm/sec traten oftmals große Schwierigkeiten in der Beurteilung der vielgestaltigen T-Zacken zutage. Dies galt vor allem für höhere Frequenzbereiche am Ende der Belastung, in denen zuweilen genauere Analysen nicht mehr möglich waren. Nur durch die Beobachtung des Gesamtverlaufes einer Ableitung während des Arbeitsversuches gelang es, genauere Daten zu erhalten. In einigen Fällen war auch dies nicht mehr möglich.

In den Standard-Ableitungen I und II war die T-Zacke während des ganzen Versuches immer positiv. Dabei erschien entsprechend den Veränderungen der Hauptachse zunächst beim Übergang vom Liegen zum Stehen eine mäßige, dann zum Ende der Arbeitsbelastung eine gut sichtbare Zunahme der T-Zacken-Höhe in Ableitung I. Nach abgeschlossener Belastung sank T I unter den Ausgangswert, um in der 10. Minute nach Beendigung der Arbeit den Ruhewert wieder zu erreichen. T II nahm vom Ruhewert aus bis zum Belastungsende ab und stieg von der 5. Minute der Erholungsphase an bis zum Ende des Versuches allmählich an. T III war im Ruhe-EKG in 18 von 30 Fällen positiv, in 9 Fällen isoelektrisch, je einmal praeterterminal und terminal negativ. Nach dem Aufstehen aber wurden 6 negative T-Wellen registriert, bis zum Ende der Fahrradergometer-Arbeit waren es sieben. In der 5. Minute der Erholungsphase waren nurmehr 2 negative T III aufzuzeichnen, in der 10. Minute nach der Belastung war keine der Zacken mehr negativ.

Die Anzahl der positiv gerichteten Endschwankungen in dieser Ableitung nahm am stärksten schon nach dem Aufstehen ab (von 18 auf 8), es zeigte sich bis zur 1. Minute nach der Belastung aber schon wieder ein Anstieg auf 11. In der 10. Minute der Erholungsphase waren 22 positiv. Einen geringen Anstieg bis zur 1. Minute nach der Ergometerarbeit konnte man auch bei den praeterterminal negativen T-III registrieren, während die terminal negativen in der Stehphase vor der Belastung in Erscheinung traten, im weiteren Verlauf der Arbeitsphase jedoch verschwanden. Die Häufigkeit der isoelektrischen T III-Zacken blieb ungefähr gleich zwischen 8 und 10, in der 10. Minute der Erholungsphase allerdings waren es nur mehr 6.

In den unipolaren Extremitäten-Ableitungen gab es in aVR nur negative T-

Schwankungen, die sich in ihrer Höhe kaum veränderten. Die aVL-Endschwankungen waren im Liegen in der Hälfte der Fälle (16) positiv, im Stehen vor der Belastung 26 und im Stehen nach der Belastung (0-1. Min.) 27. Sie sanken in der 5. Minute auf eine Anzahl von 20 und gelangten am Ende des Versuches wieder zum Ausgangswert von 16. T in aVF war stets positiv, nach dem Aufstehen schwenkten 2 davon auf die isoelektrische Linie ein, in der 1. Minute nach Belastung waren 3 isoelektrisch. In der 5. Erholungsminute im Liegen und in der 10. Minute waren sämtliche T-Wellen in aVF wieder positiv.

Negative T in aVL konnten während der Arbeitsbelastung oder kurz darnach nie gefunden werden, nur in Ruhe traten 2 Fälle auf sowie in der 5. Minute. Am Ende des Versuches war nur mehr eine T-Zacke in aVL negativ. Praeterminale T in aVL gab es nur am Anfang und am Ende des Versuches, während die terminal negativen Ausschläge in dieser Ableitung, nach dem Aufstehen von 3 Fällen auf einen zurückgingen, um im Verlauf der Belastung und während der Erholungsphase wieder bis auf 4 Fälle anzusteigen. Die Höhe der T-Wellen in den aV-Ableitungen zeigte, außer einem Anstieg im Bereich der positiven T in aVL während der Arbeitsbelastung, und einem Abfall von T in aVF keine Besonderheit.

In den Brustwand-Ableitungen erschienen vor allem die Endschwankungen über V_6 konstant in der Häufigkeit und in der Ausschlagrichtung. Nur am Ende der Belastung trat je einmal, in der 3. und in der 6. Minute, eine Zacke in die isoelektrische Linie. Vom Aufstehen an nahm T in V_6 laufend ab bis zur 1. Minute nach Belastung, sie stieg in den folgenden Phasen wieder zum Ruhewert an. In V_2 waren bei den 19 positiven T-Zacken zweimal Häufigkeits-Abnahmen feststellbar und zwar vom Liegen zum Stehen bei Belastungsbeginn und vom Ende der Belastung bis zur 1. Erholungsminute. Die Höhe der Positiven T über V_2 nahm vom Liegen zum Stehen zu, blieb während der Arbeit auf gleicher Höhe und fiel nach Belastung in der 5. Minute wieder fast auf den ursprünglichen Ruhewert, um erst in der 10. Minute erneut anzusteigen. Die negativen Endschwankungen derselben Ableitung waren im ganzen Versuchsverlauf gleich häufig (2 Fälle), in der 1. Minute stieg ihre Anzahl auf 4, das Ausmaß ihrer Höhe war schwankend. Die praeterminalen T über V_2 (5 Fälle) nahmen bis in die erste Belastungsminute an Häufigkeit zu, nahmen jedoch später wieder ab, am Ende der Belastung waren es noch sieben. Die terminal negativen T-Zacken (3 in Ruhe) zeigten die größte Reduktion nach der Arbeit. Eine isoelektrische T-Schwankung in V_2

war in Ruhe sichtbar, sie verschwand jedoch im weiteren Arbeitsversuch. In Liegeposition (Ruhe-EKG) war T über V_4 in allen Fällen positiv. Nach dem Aufstehen trat in einer Kurve Isoelektrizität ein. In der ersten Minute der Belastungsphase kamen drei praeterterminal negative T-Zacken hinzu. Die Höhe von T über V_4 fiel zunächst nach dem Aufstehen etwas ab, stieg jedoch im weiteren Verlauf der Ergometerarbeit fast linear an, um in der 1. Erholungsminute wieder leicht zu fallen. In der 5. Minute der Ruhepause erreichte sie den höchsten Wert, fiel aber dann in der 10. Minute (ST_E 10) auf den Anfangs-Ruhewert zurück.

7. Die U-Zacke

Durch die hohe Papiertransport-Geschwindigkeit konnte einesteils genaue Auskunft über das Verhalten der U-Zacke gegeben werden, anderenteils traten aber nicht selten schwierig zu entwirrende Überschneidungen mit der T-Welle oder der folgenden Vorhofs-Schwankung auf.

Während der Belastung konnte man vor allem in den Brustwand-Ableitungen bei nicht ganz der Hälfte der Fälle ein klares Hervortreten der U-Zacke erkennen, das mit einem sichtbaren Anstieg verbunden war. In manchen Kurven (4 Fälle) wurde eine Höhe von fast $1/3$ der T-Zacken erreicht. Diese Erscheinungen verschwanden in der Erholungsphase, meist aber schon in der ersten Minute nach der Arbeitsbelastung. Von gut definierbaren U-Zacken (12 Fälle), die in der Belastungs-Phase erschienen, waren zum Ende des Versuches nur mehr 4 sichtbar.

IV. T E I L

A. Zusammenfassung

In der jüngst erschienenen Monographie: Der Kreislauf des Jugendlichen bei Arbeit und Sport (Karger, Basel 1965) hat H. Mellerowicz am Schluß des hoch aktuellen Buches Fragestellungen und Probleme zu weiteren Erforschungen des jugendlichen Kreislaufs angeschnitten. Darnach erschienen dem Verfasser, neben vielen interessanten und klar formulierten Fragen, auch "statistische Untersuchungen über das Verhalten des Leistungs-EKG's von Jugendlichen nach bestimmten ergometrischen Standard-Leistungen" zur weiteren Abklärung des Gebietes erforderlich.

Die vorliegende Studie hat sich mit dieser Frage befaßt, es wurden 30 Jungen im Alter zwischen 10-15 Jahren einer standardisierten Belastung am Fahrrad-Ergometer unterworfen, dabei wurden während des jeweils 30minütigen Versuches Elektrokardiogramme aufgezeichnet. Die technischen Voraussetzungen erlaubten die Registrierung des Brustwand-EKG's während des gesamten in 8 Phasen eingeteilten Versuches, die Standard- und aV-Ableitungen konnten nur vor und nach der Arbeitsbelastung aufgenommen werden. Es wurde eine Belastung von 1 Watt/kg K.G. während 6 Minuten gewählt. Als Belastungs-Modus bot sich die den physiologischen Gegebenheiten am nächsten kommende aufrechte Körperhaltung auf dem Fahrrad-Ergometer an. Die Interpretation der Elektrokardiogramme wurde allerdings durch den Lagewechsel schwieriger, dafür wurde aber das Modell und die Technik eines Untersuchungsganges aufgezeigt, der in seinen standardisierten Größen: Zeit und Arbeitsleistung beliebig modifizierbar ist. Untersuchungen in anderen Altersgruppen, unter größeren Belastungen, können wertvolle Aufschlüsse bringen. Die Kombination von Ruhe-, Steh- und Arbeits-EKG sowie des Steh-EKG nach Belastung und des nachfolgenden Ruhe-EKG konnte (bei evtl. zeitlich verlängerter Steh-Phase nach Belastung), ein brauchbares Untersuchungs-Schema für die Diagnose jugendlicher Kreislauf-Regulationsstörungen sein.

Die Registrierung des Brustwand-Elektrokardiogramms während der Belastung macht in Zukunft auch die strenge systematische und analytische Trennung des Begriffs "Belastungs-EKG" notwendig. Denn sog. Belastungs-EKG's wurden bisher in mehr oder weniger streng programmierter Zeitfolge nach Belastung, in der Erholungsphase, aufgezeichnet, in die zwar der ergotrope Zustand des Herz- und Kreislauf-Systems hineinreicht, die aber

auch von Gegenregulationen, welche schlagartig mit Beendigung der Arbeitsbelastung einsetzen, beherrscht wird (Pulskurve). Wir gebrauchten den Ausdruck "Belastungs-EKG" für Herzstromkurven, die während der Arbeitsbelastung und den Ausdruck "Erholungsphasen-EKG" für Kurven, die nach der Belastung registriert wurden.

Vorliegende Untersuchung wurde durch vergleichende Literatur-Betrachtung eingeleitet, die Ergebnisse wurden in Tabellenform vorgelegt und mit graphischen Darstellungen kombiniert.

B. Literaturverzeichnis

1. Abarquez R.F., Freiman A.H., Reichel F., La Due J.S.,
The precordial electrocardiogram during exercise.
Circulation 22; 1060 (1960).
2. Albers D. u. P. Scheer,
Zur Analyse der Überleitungszeit im menschlichen EKG.
Z. Kreislaufforsch. 32, 193 (1940).
3. Albers D. u. N. Urban,
Der Einfluß von Frequenz und Alter auf die Überleitungszeit im Ekg des Kindes.
Zschr. Kreislaufforsch. 32, 311 (1940).
4. Alimurung M.M., Lester G.J., Craig E. und B. Massell,
The Q-T-Interval in Normal Infants and children.
Circulation 1, 6 (1950).
5. Ash R.,
Precordial leads in Children.
Am.J. Diss. Child 70, 277 (1945).
6. Aschenbrenner R. und Ph. Bamberger,
Elektrokardiographische Untersuchungen an spasmophilen Kindern.
Klin. Wschr. 14, 1494 (1935).
7. Ashman R.,
Normal human ventricular gradient; relationship between magnitudes, QRS and deviations of R-T-Segment.
8. Ashman R., Gardberg M. und E. Byer,
Normal human ventricular gradient; relation between anatomic and electrical axes.
Am. Heart J. 26, 473 (1943).
9. Battro A. und I.G. Mendy,
Precordial leads in children.
Arch. of Int. Med. 78, 31, 1946.
10. Bayer O. und H. Reindell,
Über das Verhalten des EKG-Typs des Sportmannes.
Zschr. Kreislaufforsch. 34, 272 (1942).

11. Bellet S., Eliakim M., Delyiannis S. und E.M. Figallo,
Radioelectrocardiographic changes during strenuous
exercise in normal subjects.
Circulation 25, 686 (1962).
12. Bengtson E.,
Working capacity and exercise electrocardiogram
in convalescents after acute infection diseases
without cardiac complications.
Act.Med.Scand. 154, 359 (1956).
13. Bengtson, E.,
The exercise-electrocardiogram in healthy children
and in comparison with adults.
Act.Med.Scand. 154, 225 (1956).
14. Blackburn H., Simonson E., Thomas C., Puchner N., Eisenberg P. und
Ribeira F. u. Meja M.,
Sex differences in the electrocardiogram.
Circulation 4, 589 (1960).
15. Boden E. u. P. Neukirch,
EKG-Typ und Herzlage im Experiment.
Pflüger Arch. 171, 146 (1918).
16. Boeck E. u. H. Haebisch,
Die Dauer der elektrokardiographischen Phasen
während und nach dynamischer und statistischer
Arbeit im Liegen und Stehen.
Zschr. Kreislaufforsch. 50, 425 (1961).
17. Boellhaard J.W.,
Über Umbauvorgänge in der rechten Herzkammer-
wand während der Neugeborenen- und Säuglings-
periode.
Zschr. Kreislaufforsch. 41, 101 (1952).
18. Bonner W. u. J. Durant,
T-wave abnormalities in patient with no evident
heart disease; the effect of posture.
Am.Journ.of Med.Scienc. 241, 179 (1961).
19. Brugsch H.,
Die Angst-Ekg des Kindes.
Kinderärztl.Praxis 25, 456 (1957).
20. Burnett C.T. u. E.L. Taylor,
Electrocardiograms on 167 average healthy
infants and children.
Am.Heart J. 11, 185 (1936).

21. Cammann O., Electrokardiographische Befunde bei manifester Spasmophilie des Säuglings.
Mschr. Kinderhk. 73, 42 (1938).
22. Cammann O., Beiträge zur Elektrokardiographie des Kindesalters.
Mschr. Kinderhk. 93, 76 (1943).
23. Comitee on Electrocardiography of the American Heart Association.
Recommendations for Standardisation of Electro-
cardiographic Leads.
Circulation 10, 564 (1954).
24. Clasing D. u. F.P. Durusoy,
Untersuchung über die Auswirkung der allgemeinen
Grundausbildung der Bundeswehr auf die körperliche
Leistungsfähigkeit. (2. Mitt.)
(Sportarzt u. Sportmed. 3, 85 (1965)).
25. Dagnini G., L'elettrocardiogramma normale studiato in 200
giovani donne dagli 11 al 17 anni di età.
Cuore e circol. 20, 454 (1936).
26. Delius L., Die Prognose "nervöser" Herzbeschwerden.
Dtsch. Med. Wschr. 67, 100 (1941).
27. Doll E., Der obere Umschlagpunkt im Brustwand-EKG des Neu-
geborenen, seine Veränderungen in den ersten Lebens-
monaten und seine Beziehungen zum Vektorkardiogramm.
Zschr. Kreislaufforsch. 45, 210 (1956).
28. Doll E., Klepzig H., Reindell H. u. G. Mehnert,
Das Brustwand-EKG beim Kind.
Zschr. Kreislaufforsch. 42, 641 (1953).
29. v. Dungern M., Die Dauer des Kammer-Elektrokardiogramms Q-T im
EKG gesunder Schulkinder vor und nach Herzbelastung.
Zschr. Kreislaufforsch. 31, 739 (1939).
30. Ehni L., Die Bedeutung des Belastungs-Elektrokardiogramms im
Kindesalter unter besonderer Berücksichtigung der
T-Zacke.
Zschr. Kinderhk. 71, 549 (1952).
31. Einthoven W., Weiteres über das EKG.
Arch. Ges. Physiol. 122, 517 (1908).

32. Eitel J. u. P. Heintzen,
Die P-Zacke in den Brustwandableitungen unter normalen und pathologischen Bedingungen.
Z. Kreislaufforsch. 44, 837 (1955).
33. Engel E.,
Das EKG des gesunden Frühgeborenen, Neugeborenen und Säuglings.
Z. Kinderhk. 59, 359 (1937).
34. Epstein N.,
Heart in normal infants and children; incidence of precordial systolic murmurs and fluoroscopic and electrocardiographic studies.
J. Pediatr. 32, 39-45 (1948).
35. Erkelenz A.J.,
De invloed der lichaamshouding op den vorm van het electrocardiogram.
Nederl. Tydschr voor Geneeskunde 81, 4557 (1937).
36. Flaum E. u. F. Nagl,
Sekundenherztod ohne Kammerflimmern.
Dtsch. Arch. klin. Med. 180, 296 (1937).
37. Gardberg M. u. J.L. Rosen,
The effect of nonpathologic factors on the electrocardiogram.
Am. Heart.J. 53, 494 (1957).
38. Gelman J. u. S. Brown,
Electrocardiographical characterisation of heart in old age and in childhood.
Act.med. Scand. 91, 387 (1937).

On evolution of cardiovascular system in man; influence of several vasodilatory substances.
(92, 429, 1937).
39. Gierthmühlen F.,
Das Steh-EKG im Kindesalter.
Kinderärztl. Praxis (18, 466 (1950)).
40. Goulder E. u. W. Adams,
Unipolar electrocardiographic study of left ventricular hypertrophy. The electrocardiogram with left axis deviation.
Am.J.Med. 6, 665 (1949).

51. Holzmann M., Klinische Elektrokardiographie.
Thieme, Stuttgart 1961.
52. Holzmann M. und F. Wuhrmann,
Arbeitsversuch im EKG.
Dtsch.Med.Wschr. 62:379, 641; 685 (1936).
53. Hoskin J. u. P. Jonescu,
Analysis of 50 normal electrocardiograms
including lead IV.
Brit.Heart.J. 2, 33 (1940).
54. Huttmann A., Über das Verhalten der Q-T-Dauer in den drei Ab-
leitungen des menschlichen Elektrokardiogramms.
Klin.Wschr. 19, 1237 (1940).
55. Kaggertz u. Mitarb.,
zit. Fanconi Wallgren, Lehrbuch der Paediatric,
Basel 1961.
56. Kaltenbach M. und H. Klepzig,
Das EKG während Belastung und seine Bedeutung
für die Erkennung der Koronarsuffizienz.
Zschr.Kreislaufforsch. 52, 486 (1963).
57. Karnop F., 24-Stunden-Rhythmus im EKG des Kindes.
Ärztl.Wschr. 14, 866 (1959).
58. Kenth U., Zur Linksverschiebung des Typs im Stehelektro-
kardiogramm bei Kindern.
Z.f.Kreislaufforsch. 45, 132 (1956).
59. Kienle F., Das Belastungs- und Steh-EKG.
Leipzig 1946.
60. Kirchhoff H.W., Untersuchungen über die Kreislaufregulation der
Kinder und Jugendlichen.
Ärztl.Jugendkunde 52, 129 (1960).
61. Kirchhoff H.W. und R. Eichler,
Untersuchungen über die Kreislaufregulation im
Reifungsalter.
Zschr.f.Kinderhkl. 72, 113 (1952).
62. Klepzig H., Müller D. und H. Reindell,
Über das EKG während der Belastung und seine
klinische Bedeutung.
Zschr.Kreislaufforsch. 45, 741 (1963).

63. Klepzig H. und H. Reindell,
Die neuzeitlichen Brustwand- und Extremitäten-
ableitungen in der Praxis.
Thieme, Stuttgart 1958.
64. Kneese de Melo, zit. von Lepeschkin
Arqu, Brasil. cardiol. 1, 237 (1948).
65. Korth C.,
Klinische Elektrokardiographie.
Urban u. Schwarzenberg, Berlin, Wien 1942.
66. Kuskin L. u. Brockman, L.,
Direction of precordial T-wave in 321 normal infants
and children.
Am. Journ. Med. Sc. 218, 65 (1949).
67. Laurentius P. und K. Schüler,
Zur Frage des Belastungs-Elektrokardiogramms im
Kindesalter. Das normale Belastungs-EKG.
Klin. Wschr. 17, 625 (1938).
68. Lepeschkin E.,
Elektrokardiographie.
Steinkopff, Dresden und Leipzig (1958).
69. Lepeschkin E.,
Über das normale Brustwand-EKG im Kindesalter.
Arch. f. Kreislaufforsch. 3, 321 (1938).
70. Leutz G.,
Diss. Freiburg 1957
71. Lubich T.,
Primi risultati nell'impiego di un nuovo metodo die
telemisurazione e teleregistrazione dialcuni parametri
cardiocirculatori e respiratori durante l'impiego
agonistico.
Med. Sport Torino 2, 523 (1962).
72. Lutterbeck Z.,
Untersuchungen über den Ursprungsort orthostatischer
EKG-Veränderungen.
Z. Kreislaufforsch. 34, 81 (1942).
73. Mannheimer E.,
Calibrated phonocardiography and electrocardiography;
clinical-statistical study of normal children and
children with congenital heart disease.
Act. paediatrica (suppl. 2) 28:1-287 (1940).

74. Maroney M. und L.A. Rantz,
Electrocardiogram in 679 healthy infants and children.
Pediatrics 5, 396 (1950).
75. Master A.M., Dack S. und H.L. Jaffe,
Chest leads in normal children.
Am. Heart J. 41, 687 (1951).
76. Matthes K.,
Kreislaufuntersuchungen am Menschen mit fortlaufend registrierenden Methoden.
Stuttgart 1951.
77. Mayerson H.S. und W.D. Davis jr.,
Influence of posture on electrocardiogram.
Am. Heart J. 24, 593 (1942).
78. Mechelke K. und P. Christian,
Vegetative Herz- und Kreislaufstörungen.
Handb. Inn. Med. IX/4, 705 (1960).
79. Mellerowicz H.,
Trainingswirkung auf Herz und Kreislauf.
Lehrbuch Sportmedizin (Leipzig 1960).
80. Mellerowicz H.,
Ergometrie.
Urban u. Schwarzenberg, München-Berlin 1962.
- 80a. Mellerowicz H.,
Der Kreislauf des Jugendlichen bei Arbeit und Sport.
S. Karger, Basel 1965
Med. u. pädagog. Jugendkunde 2
81. Mellerowicz H. und B. Dransfeld,
Untersuchungen über das Verhalten der Herzschlagfrequenz während und nach körperlicher Belastung.
Arbeitsphysiologie 16, 464 (1957).
82. Mellerowicz H. und D. Lerche,
Ergometrische Untersuchungen zur Beurteilung der kardialen und körperlichen Leistungsfähigkeit bei Kindern und Jugendlichen.
Zschr. Kinderhkl. 81, 36 (1958).
83. Mellerowicz H. und W. Minx,
(siehe unter 80).

84. Mellerowicz H., Reindell H., Hollmann W., Mies H. u. Roskamm H.,
Vorschläge zur Standardisierung der ergometrischen
Leistungsmessung.
Zschr. Kreislaufforsch. 50, 273 (1961).
85. Michel D. u. H. Reinfried,
Zum Verhalten der T-Zacke bei der Brustwandablei-
tung im Kindesalter.
Kinderärztl. Praxis 19, 263 (1951).
86. Müller E. A., Radmarkt, 4, 13 (1952).
87. Myers G. B. und H. A. Klein,
Relation of unipolar limb leads to precordial and
esophageal leads.
Am. Heart J. 35, 727 (1948).
88. Nadrai A., Die Elektrokardiographie im Säuglingsalter.
Z. Kinderhk. 61, 63 (1939).
89. Nicolson G., Clinical Electrocardiography in children.
Macmillan Comp. N. Y. (1953).
90. Nitsch K., Untersuchungen über die Kreislaufregulation bei
organisch gesunden Kindern.
Mschr. Kinderhkl. 96, 296 (1948/49).
91. Ohr A., (siehe unter 130)
92. Ohr A. und W. Porscha,
Beitrag zur QT- und QP-Dauer im EKG des Kindesalters.
Z. Kreislaufforsch. 32, 809 (1940).
94. Penaloza D., Gamboa R., Dyer J., Echevarria M. und E. Maritcorena,
The influence of high altitudes on the electrical
activity of the heart.
A. Heart J. 59, 111 (1960).
95. Poel W., Cardiometric studies on children; report of case of
incomplete heart block due to vagal effect.
Arch. int. Med. 69, 1040 (1942).
96. Reindell H., Kymographische und elektrokardiographische Befunde
am Sporthenzen; Untersuchungen in Ruhe.
Dtsch. Arch. klin. Med. 181, 485 (1938).

97. Reindell H., Bayer O. u. G. Assmann,
Erfahrungen über die Regulationsprüfung des Kreis-
laufs nach Schellong.
Z.klin.Med. 144, 251 (1944).
98. Reindell H. und L. Delius,
Klinische Beobachtungen über die Herzdynamik
beim gesunden Menschen.
Dtsch. Arch. klin. Med. 193, 639 (1948).
99. Reindell H., Klepzig H. und H. Steim,
Die sportärztliche Herz- und Kreislaufberatung.
Sportmedizinische Schriftenreihe Wander 3, 1957.
100. Reindell H., Klepzig H., Weyland R., Musshoff K. und Schildge E.,
III. Das EKG des Trainierten.
1. Das Standard-Extremitäten-EKG.
Erg. Inn. Med. u. Kinderhk. 5, 329 (1954).
101. Remè H.,
Über die T-Schwankung im Elektrokardiogramm
des Kindes.
Z. exper. Med. 101, 729 (1937).
102. Reynolds R. W.,
T-wave detour in the precordial leads during
childhood.
Pediatrics 7 (1951).
103. Richman B. und A.M. Master,
The unipolar chest and extremity lead
electrocardiogram in children.
Am. Heart J. 41, 687 (1951).
104. Rieger H.,
Beurteilung des Kreislaufes bei Jugendlichen.
Arch. Kinderhk. 118, 123 (1939).
105. Rosen I. L. und M. Gardberg,
siehe Nr. 37.
106. Rosen I. L. und M. Gardberg,
The electrocardiogram and vectorcardiogram in
children.
Dis. Chest 32, 493 (1957).

107. Rosenkranz K.A. und A. Drews,
Über eine modifizierte Ableitungsmethode zur Registrierung von Brustwandelektrokardiogramm während dosierter körperlicher Belastung.
Zschr. Kreislaufforsch. 53, 615 (1964).
108. Roskamm H. und H. Reindell,
Die klinische Bedeutung des Elektrokardiogramms während Ergometerbelastung.
Ärztl. Laboratorium 9, 277 (1963).
109. Rotschuh K.E., Die Regulationsprüfung des Kreislaufs. Eine einfache Kreislauffunktionsprobe.
Münch. Med. Wschr. 50, 1974 (1937).
110. Rutenfranz J., Hellbrügge Th., Stehr K., Hocke Ch. und R. Hocke,
Über den Einfluß des Filmerlebnisses auf das Pulsverhalten von Kindern.
Zschr. Kinderhk. 83, 65 (1959).
- 110a. Rutenfranz J., Entwicklung und Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit bei Kindern und Jugendlichen.
Bibl. Paed. fasc. 82, Basel (Karger) 1964.
111. Savilahti M., On normal and pathological PQ-time of electrocardiogram.
Acta med. Scand. 123, 252 (1946).
112. Simonson E., Principles for determination of electrocardiography normal standards.
Am. Heart J. 52, 163 (1956).
113. Simonson E., Brozek J. und O.H. Schmitt,
Effect of chest configuration on spatial mean QRS and T-vector.
Cardiologia 38, 258 (1961).
114. Slapak L., Die Beurteilung des Herzens bei Leistungssport treibenden Kindern und Jugendlichen.
Neue Österr. Zschr. Kinderhk. 1, 406 (1956).
115. Suarez R.M. und R.M. Suarez jr.,
T-wave of precordial electrocardiogram at different age levels.
Am. Heart J. 32, 480 (1946).

116. Switzer J.L. und M. Besoain,
Electrocardiograms of normal children.
Am.J. Dis. Child 79, 449 (1950).
117. Schellong F.,
Regulationsprüfung des Kreislaufs.
Steinkopff, Dresden u. Leipzig (1938).
118. Schellong F. und M. Heinemeier,
Über die Kreislaufregulation in aufrechter Körper-
haltung und ihre Störungen.
Zschr. exper. Med. 89, 61 (1933).
119. Schlomka G., - Das Belastungs-EKG.
Arbeitsphysiologie 8, 705 (1935).
- 120a. Schlomka G. und H. Reindell,
Untersuchungen über die physiologischen Unregel-
mäßigkeiten des Herzens.
Z. Kreislaufforsch. 28, 473 (1936).
- b. Schlomka G. und W. Rössel,
ders. Titel
Z. Kreislaufforsch. 31, 557 (1939).
- c. Schlomka G. und P. Schölmerich,
ders. Titel
Z. Kreislaufforsch. 33, 442 (1941).
121. Schlomka G. und H. Kreutzmann,
Einfluß des Lebensalters auf den EKG-Typ.
Z. klin. Med. 129, 523 (1936).
122. Schlomka G. und H. Reindell,
Das Belastungs-EKG.
Arb. physiol. 8, 173 (1934).
123. Schlomka G., Reindell H. und V. Malamani,
Beiträge zur klinischen Elektrokardiographie;
weitere Untersuchungen über das Belastungs-EKG.
Z. klin. Med. 136, 367 (1939).
124. Schlomka G. und H. Reindell,
EKG beim Übergang vom Liegen zum Stehen.
Z. klin. Med. 130, 313 (1936).

125. Schlomka G. und G. Radermacher,
Aufsteh-EKG,
Z.klin.Med. 135, 745 (1936).
126. Schmidt J.,
Die Größenvarianten des normalen Herzens,
Tgl.Praxis 5, 275 (1964).
127. Schmidt J.,
Die Bedeutung der P-Zacke in der klinischen
Elektrokardiographie.
Z.Kreislaufforsch. 44, 837 (1955).
128. Schmidt-Voigt J.,
Das Körperbild im Reifungsalter.
Erg.inn.Med. 64, 296 (1948/49).
129. Stoermer J.,
Wichtige EKG- und Kreislaufveränderungen bei
vegetativ labilen Kindern.
Arch.Kinderhk. 159, 246 (1959).
130. Stolte und Ohr A.,
Die Belastungs-Elektrokardiographie.
Handb.d.Kinderhkl. Erg.Band 1, 1942.
131. Tudbury P. und D.W. Atkinson,
Electrocardiograms of 100 normal infants and
young children.
J. of Pediatr. 36, 466 (1950).
132. v. Unghvary,
Über die Lageveränderung der elektrischen Achsen in
Ebene und Raum während der Entwicklung des Herzens
und ihr Zusammenhang mit den Brustwandableitungen.
Z.Kreislaufforsch. 38, 674 (1949).
133. Urschel D.L. und D.C. Abbey,
Mean spatial vectorcardiography; influence of age
sex, body build, and chest configuration on QRS vector
in normal individuals.
Am.Heart J. 46, 496 (1953).
134. Vaquero M., R.Limon Lason und A.Limon Lason,
Mem.II.del congreso interamericano de cardiologia,
Mexico 1946.
135. Vesa A.,
Versuche zur Provozierung der U-Welle im EKG.
Acta soc.med.fenn. duodecim 26, 1-23 (1939).

136. Vogt D., Über den gegenwärtigen Stand der Akzeleration
in Bayern.
Arch.Kinderhk. 159, 141 (1959).
137. Yn N.P., Joos H.A. und Ch.P. Katzampes,
Unipolar electrocardiogram in normal infants and
children.
Am.Heart J. 41, 91 (1951).
138. Ziegler R.F., Electrocardiographic studies in normal infants and
children.
Circulation 3, 438 (1951).

L e b e n s l a u f

Am 24. April 1930 wurde ich, Heinz Friedrich Forchheimer, als Sohn des prakt. Arztes Dr. med. David Forchheimer und seiner Ehefrau Franziska, geb. Rasch, in Regensburg geboren.

In meiner Heimatstadt Straubing besuchte ich die Volksschule und das humanistische Gymnasium, das ich im Juli 1949 absolvierte. Im Wintersemester 1949/50 begann ich mein Studium an der Hochschule Regensburg und wechselte 1 Jahr später an die Medizinische Fakultät der Universität München über, wo ich 1953 meine ärztliche Vorprüfung und 1956 meine ärztliche Prüfung ablegte.

Als Medizinalassistent war ich jeweils vom 1.10.1956 bis 31.12.1957 auf der chirurgischen und gynäkologischen Abteilung des Kreiskrankenhauses Mainburg, vom 15.1.1958 bis 20.4.1958 auf der Medizinischen Abteilung des Städt. Krankenhauses Passau und vom 21.4. bis 30.12.1958 auf der inneren Abteilung des Krankenhauses der Barmherzigen Brüder in Straubing tätig. Ab 2.1.1959 arbeitete ich als Angestellter der Kassenärztlichen Vereinigung Bayern in der als Landpraxis anerkannten Allgemein-Praxis meines Vaters in Straubing.

Mit den theoretischen und praktischen Vorarbeiten für die vorliegende Promotionsarbeit befaßte ich mich ab 1.3.1961 bis August 1961 an der Kinder-Poliklinik München. Von diesem Zeitpunkt bis zum heutigen Datum war ich wieder als Assistent in der Praxis meines Vaters beschäftigt.

Die Bestallung als Arzt wurde mir am 14. Mai 1959 erteilt.

München, 2.9.1965

gez. Heinz Forchheimer



